



## SEMINARIO

### “Il Consolidamento Statico ed Antisismico degli Edifici Esistenti:

Soluzioni in Calcestruzzo Leggero per il recupero dei Solai e Rinforzi Strutturali con i materiali compositi in FRCM e FRP”



**ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI LATINA**

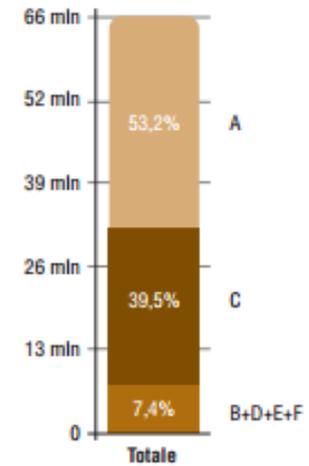
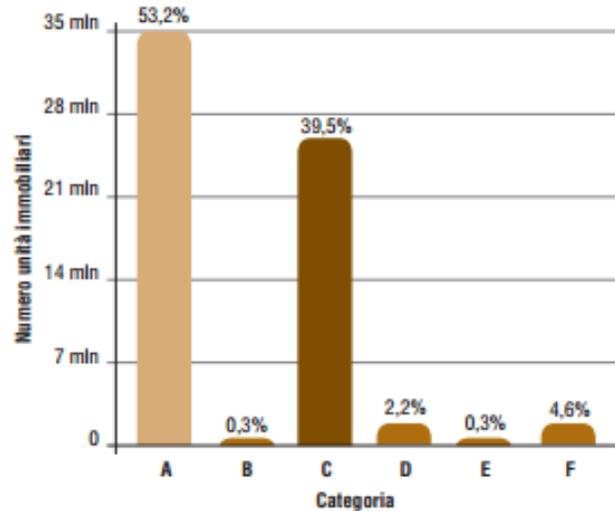


# ***Distribuzione del Costruito e Pericolosità Sismica***



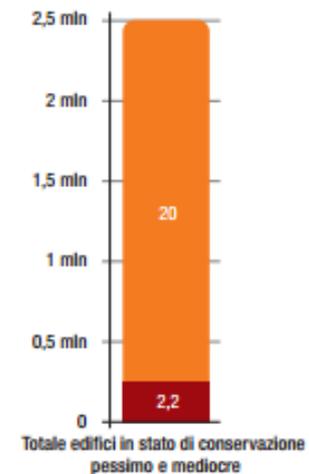
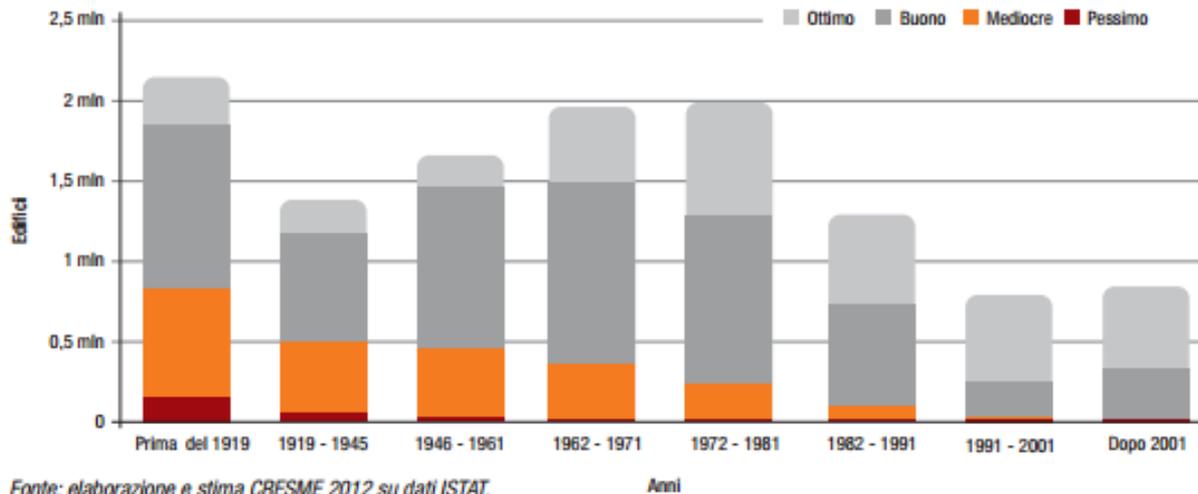
## Distribuzione del patrimonio immobiliare al 31.12.12 (n° unità)

A	Abitazioni, uffici e studi privati
B	Uffici pubblici, scuole, biblioteche, caserme
C	Negozi, magazzini, autorimesse
D	Alberghi, teatri, ospedali, fabbricati ad uso sportivo – commerciale – industriale
E	Stazioni ferroviarie e a aeroportuali, chiese
F	Lastrici solari, unità in corso di costruzione/definizione, fabbricati inutilizzabili



Fonte: statistiche catastali 2012 Agenzia delle Entrate.

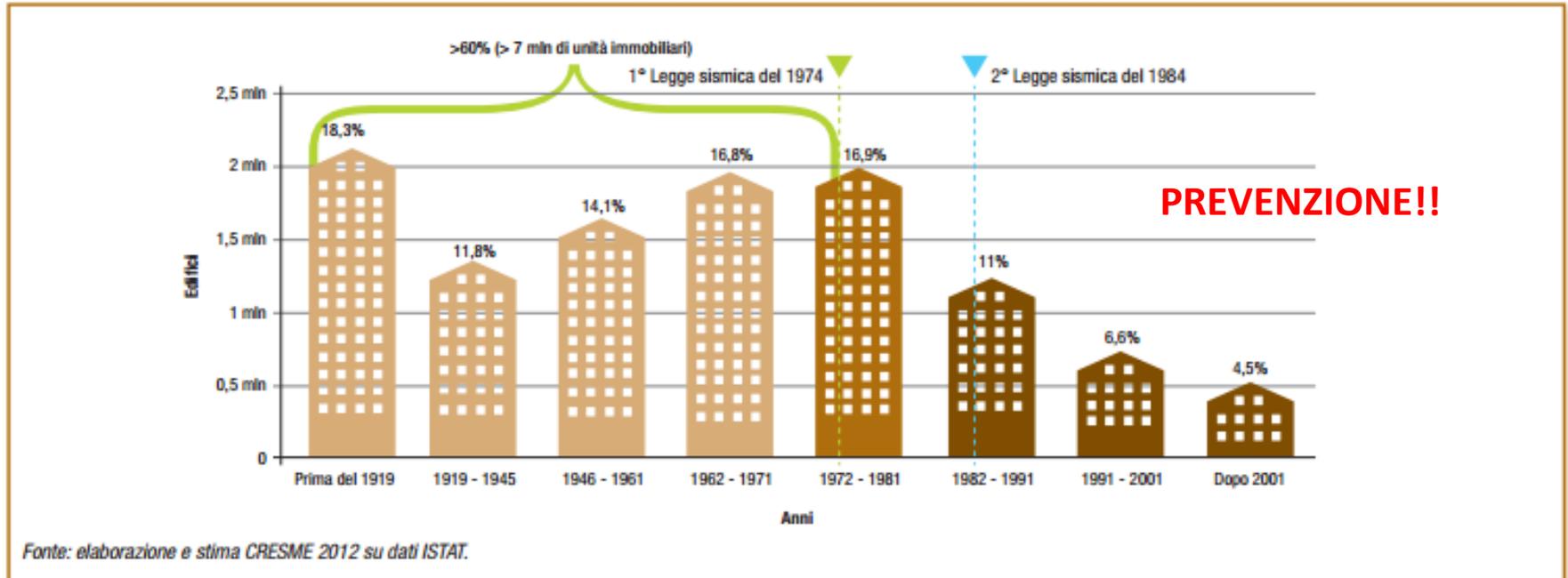
## Stato di conservazione degli edifici esistenti al 31.12.12



Fonte: elaborazione e stima CRESME 2012 su dati ISTAT.



## Edifici ad uso abitativo per epoca di costruzione



Per quanto riguarda il rischio sismico, la classificazione territoriale per grado di pericolo evidenzia come oltre 21,5 milioni di persone abitino in aree del paese esposte a rischio sismico molto o abbastanza elevato (classificate, rispettivamente, 1 e 2), con una quota pari quasi a 3 milioni nella sola zona 1 di massima esposizione (tab.3).



Oltre **2,5 milioni** di edifici da **ristrutturare** in stato di conservazione pessimo o mediocre (oltre il **25%** del patrimonio edilizio esistente).



Oltre **7 milioni** di edifici costruiti prima delle **leggi antisismiche** del 1974 e 1984 (ca. il **60%** del patrimonio edilizio italiano).



***I solai italiani***



1 Il patrimonio edilizio esistente

## 1.2 I solai italiani e criticità di intervento

### CLASSIFICAZIONE TIPOLOGICA DEGLI ORIZZONTAMENTI/SOLAI ESISTENTI

- 1) Solai in legno
- 2) Solai in acciaio
- 3) Solai in laterocemento
- 4) Solai prefabbricati
- 5) Solai in calcestruzzo armato
- 6) Solai ad arco e volta



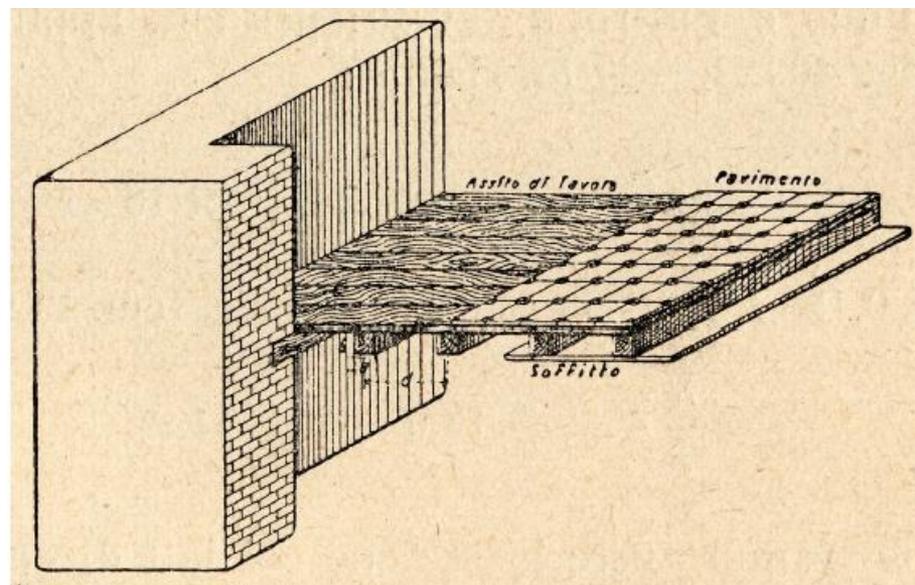
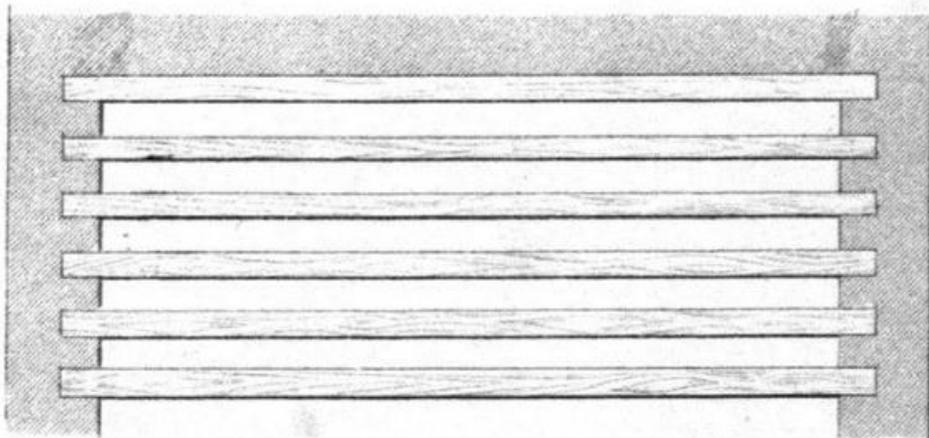
## 1) Solai in legno



In genere impiegati per luci non superiori ai 3 – 4 metri

Hanno l'inconveniente di scaricare il peso del solaio soltanto su due dei quattro muri che costituiscono l'ambiente

Soffitto di solito costituito da **stuoia di canne intonacata** con malta di calce e gesso

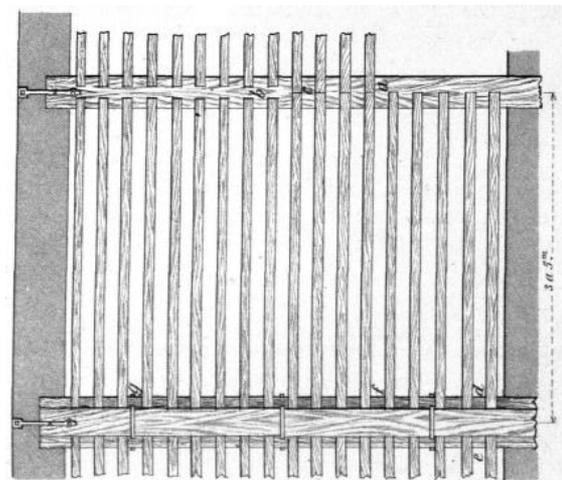
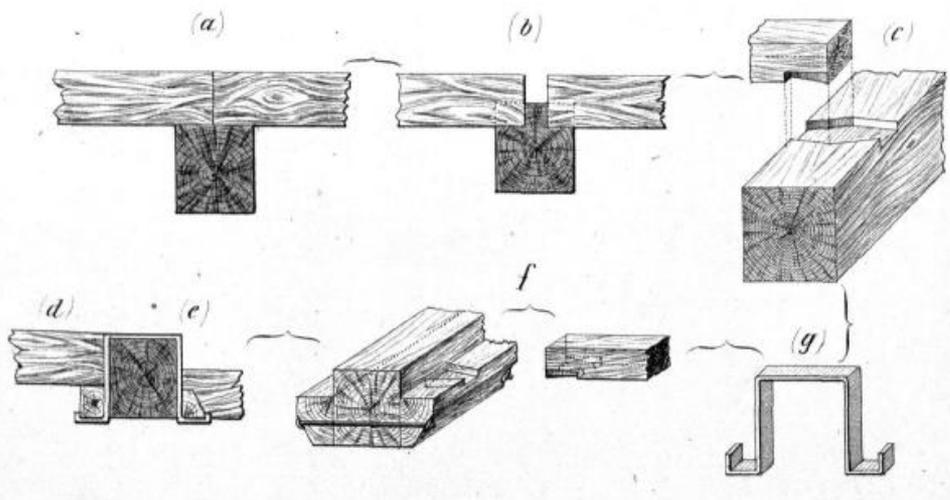




In genere travi principali di grandi dimensioni ad interasse di 3 – 4 metri e travetti secondari posti ad interasse di 30 – 60 cm

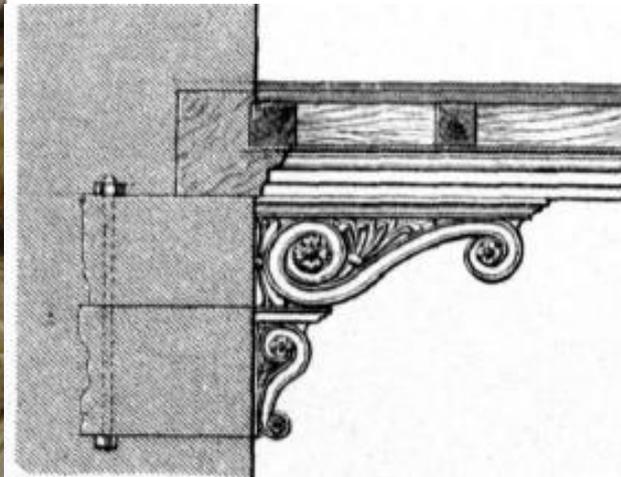
**Scaricano il peso del solaio su tutti e quattro muri**, anche se in corrispondenza delle travi principali esistono **concentrazioni di sforzo**

Solai di **alto spessore**, a volte per ovviare a questo l'orditura secondaria veniva realizzata nello spessore di quella principale

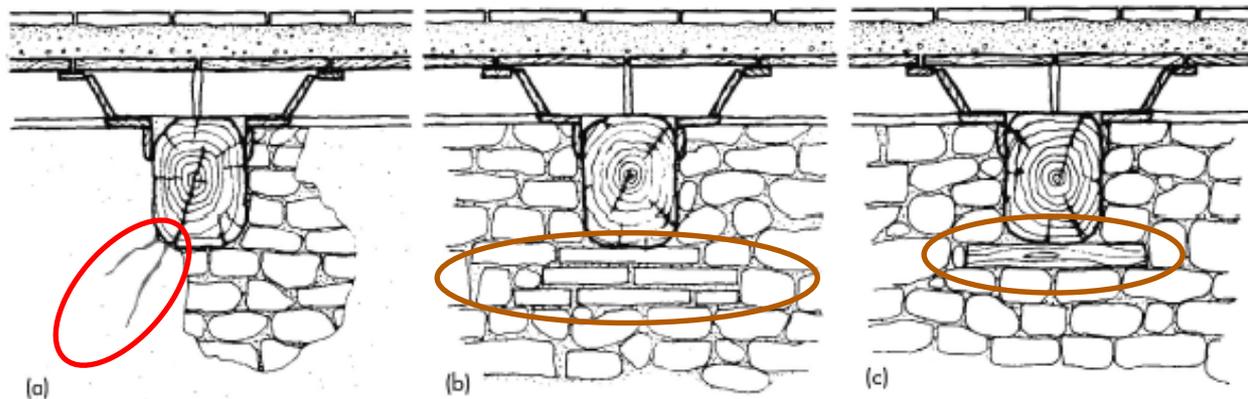




## 1.2 I solai italiani e criticità di intervento



Appoggio delle travi  
maestre su un muro  
rappresentano punto  
critico



Per effetto degli sforzi di  
taglio negli appoggi si  
creano delle fessure  
inclinate di 45°



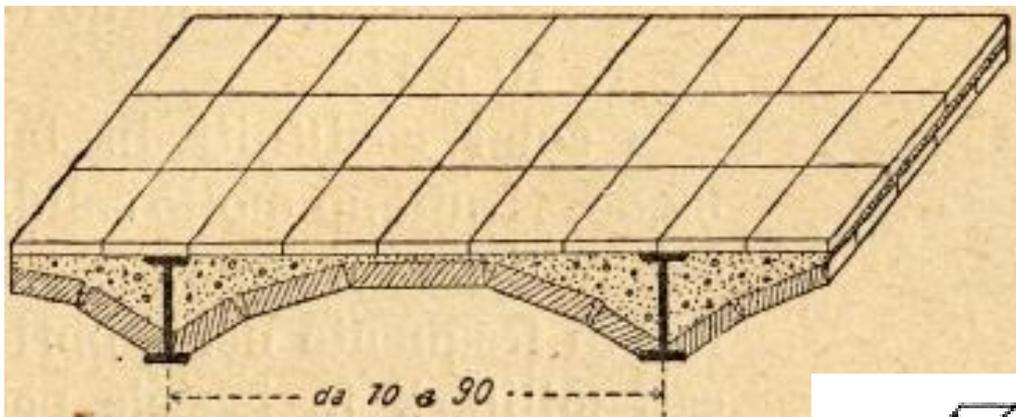
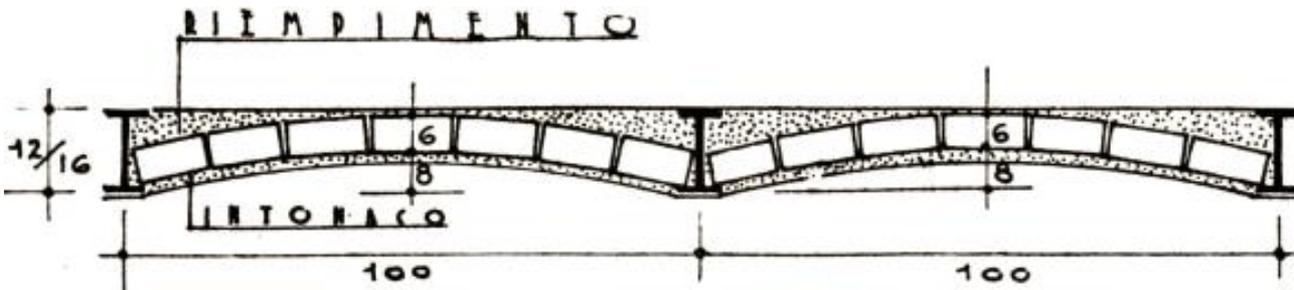
1 Il patrimonio edilizio esistente

## 1.2 I solai italiani e criticità di intervento

**Leca**  
soluzioni leggere e isolanti

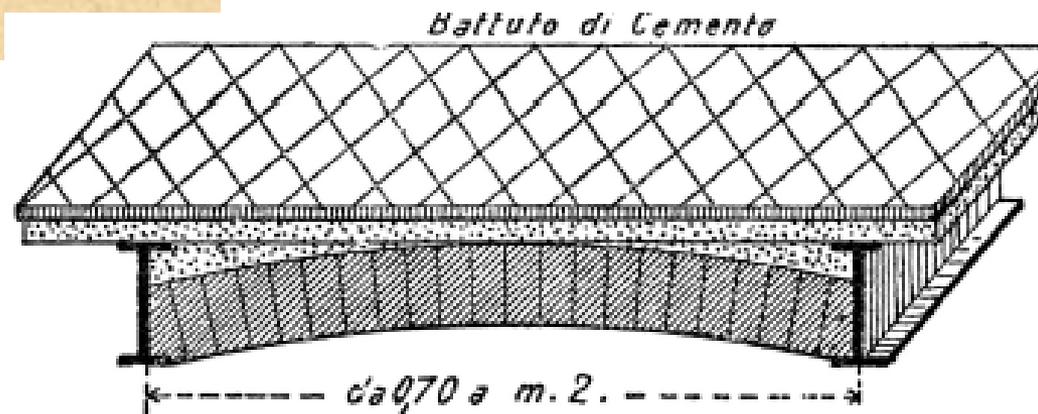


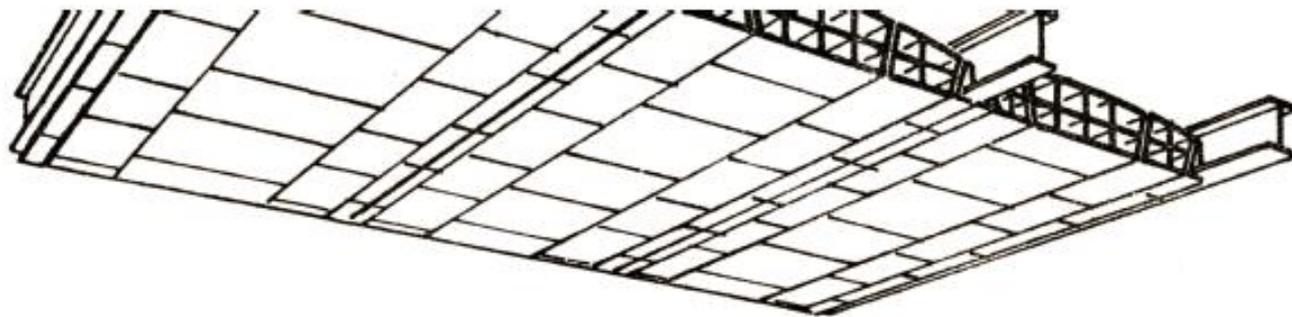
## 2) Solai in acciaio



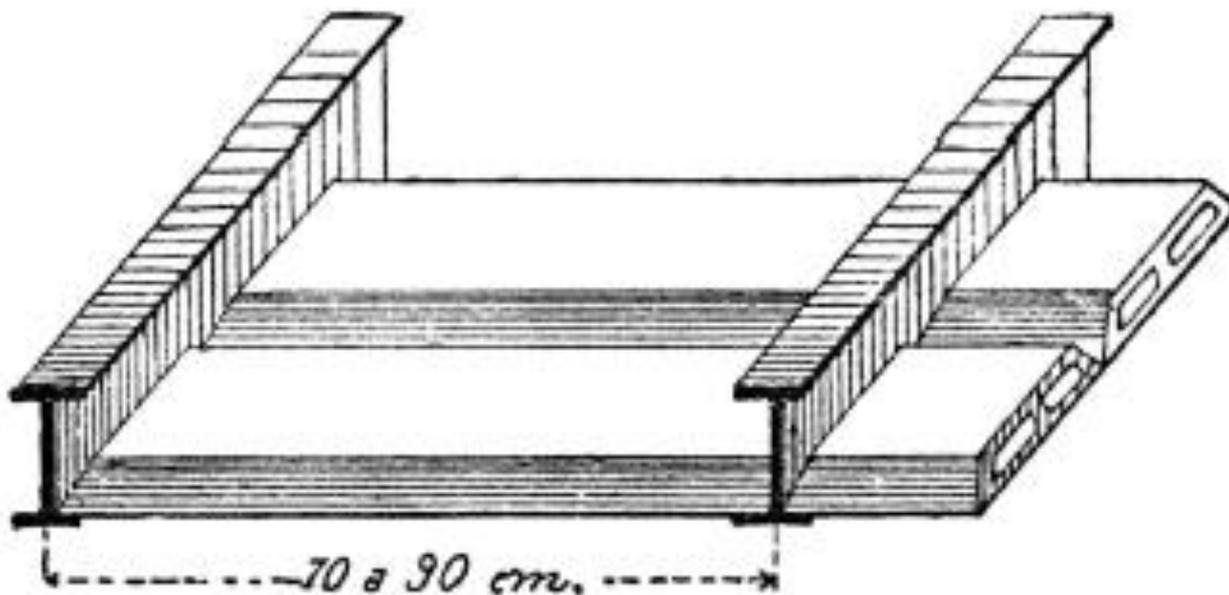
**Voltine in «foglio»** adatte per carichi modesti (5 – 6 cm di spessore)

**Voltine «ad una testa»** adatte per carichi più importanti (12 – 13 cm di spessore)





PARTICOLARE DI UNA  
TRAVE IN FERRO  
PROTETTA DA COPRI  
FERRO



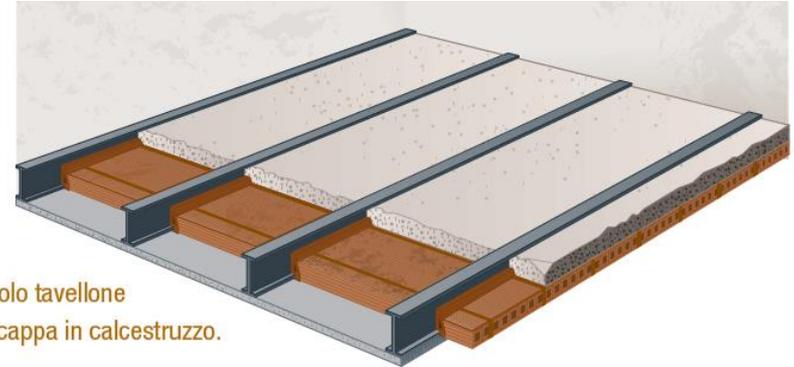
I solai con **tavelloni e volterrane** non differiscono molto da quelli contemporanei



Voltine ad estradosso piano.

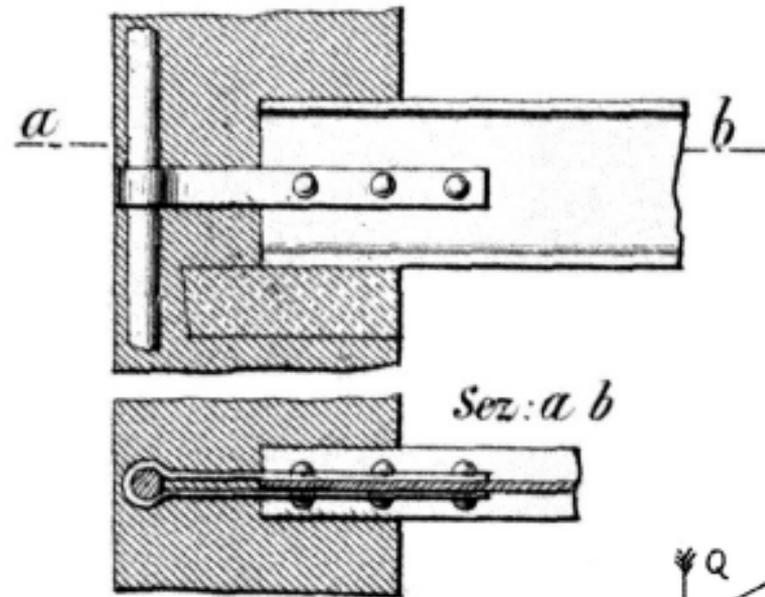


Voltine curve "volterrane".



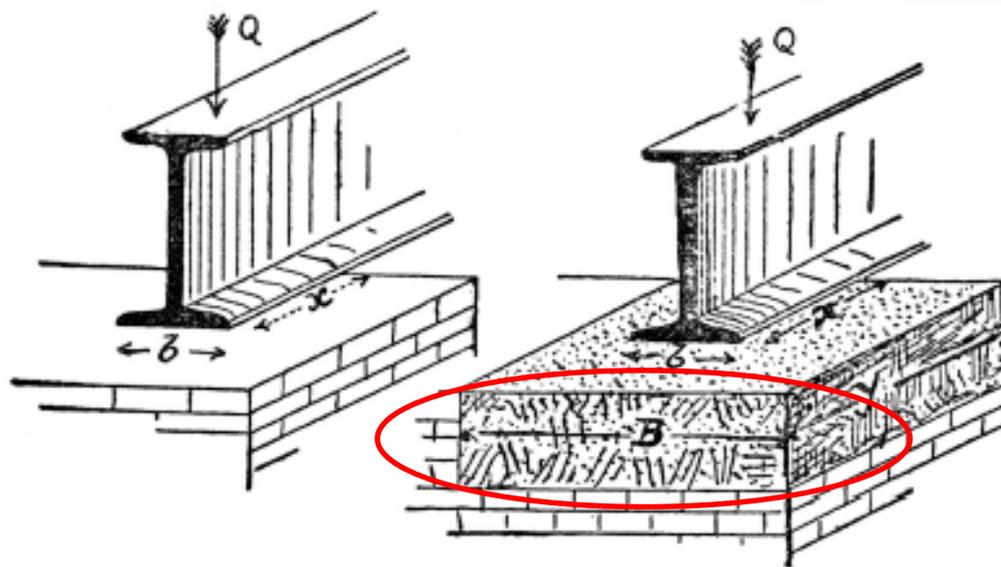
Singolo tavellone  
con cappa in calcestruzzo.





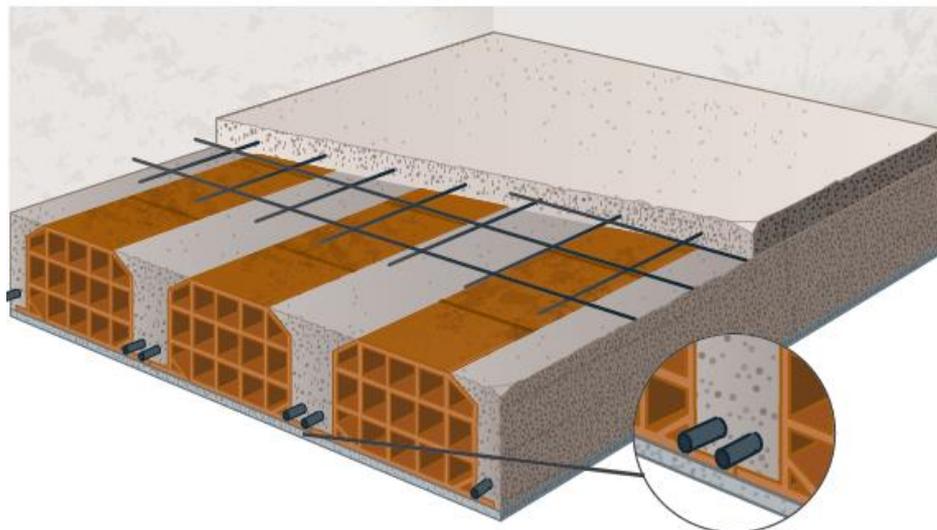
**Bulzone** inserito al fine di prevenire lo sfilamento dalla muratura

Fondamentale ampiezza della superficie di appoggio



### 3) Solai in latero – cemento e laterizi armati

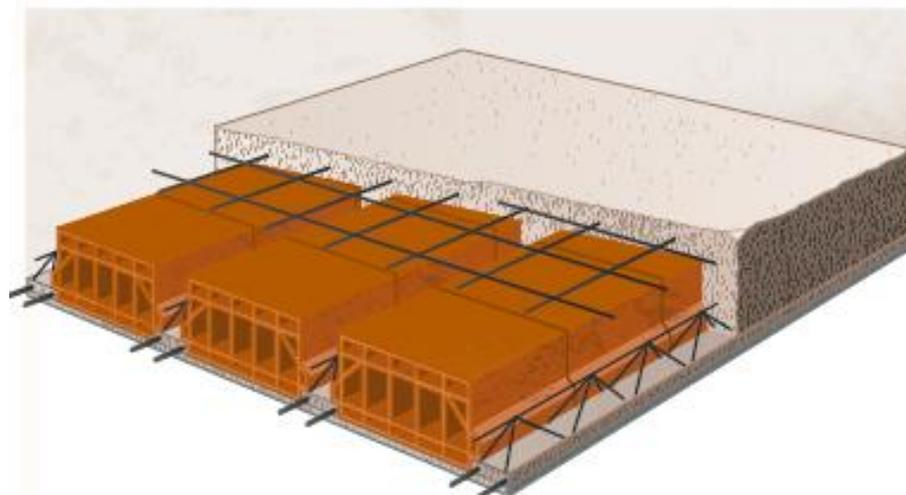
Pignatte con fondello accostato.



In seguito sono stati realizzati diversi **blocchi di alleggerimento specifici e pezzi speciali** sino arrivare ai giorni nostri

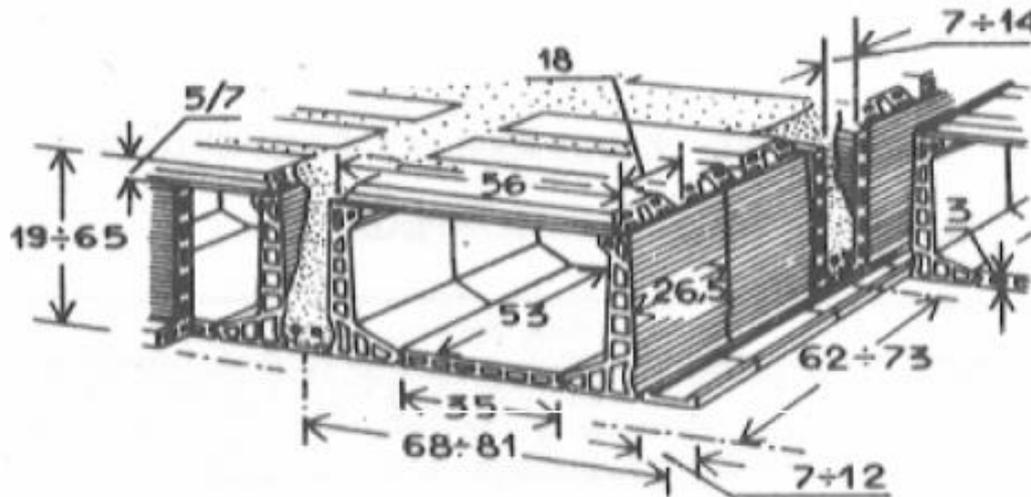
I primi **elementi laterizi** impiegati per **alleggerire** solai latero – cementizi sono stati i **classici mattoni forati** nei primi decenni del secolo scorso

Solaio a travetti tralicciati.



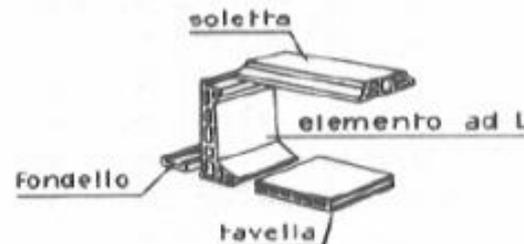
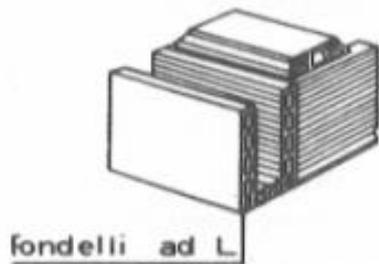


## Vecchi SOLAI STIMIP

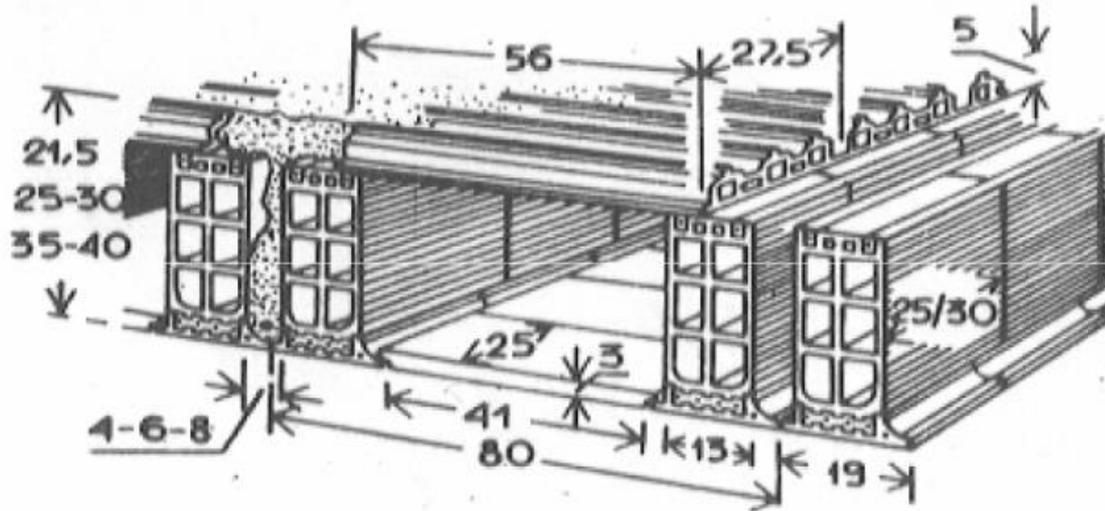


Solaio idoneo a coprire grandi luci e forti sovraccarichi

**Difetto di avere elevato peso proprio e complessità di montaggio con banchinaggio mediante assito completo**



## Vecchi SOLAI SAPAL



Solaio idoneo a coprire luci da 4 sino a 10 metri

Pesi propri da 30 sino a 210 kg/mq

Esiste anche il solaio SAPAL BM con nervature da 7 cm di larghezza





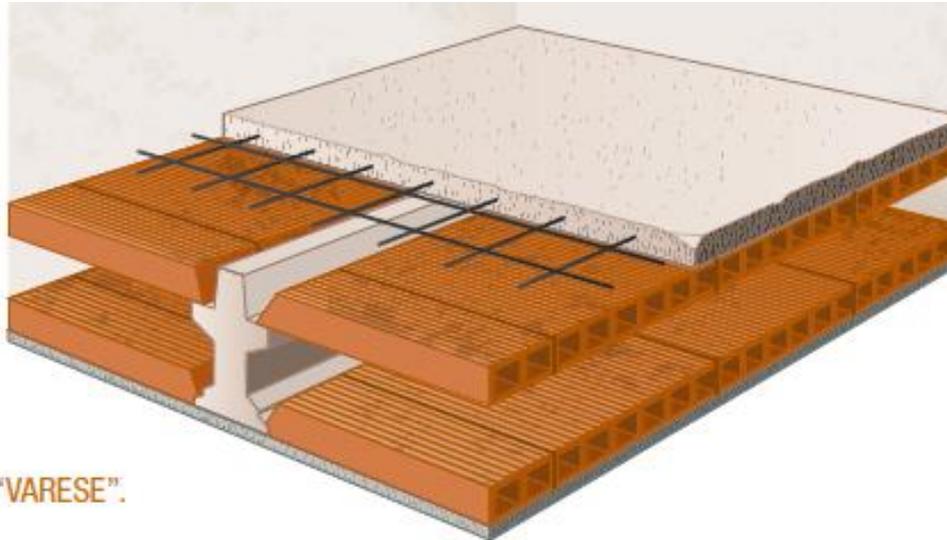
1 Il patrimonio edilizio esistente

## 1.2 I solai italiani e criticità di intervento

**Leca**  
soluzioni leggere e isolanti  
**Laterlite**

### SOLAIO A TRAVI VARESE

Solaio idoneo a coprire luci da  
4,5 sino a 10 metri



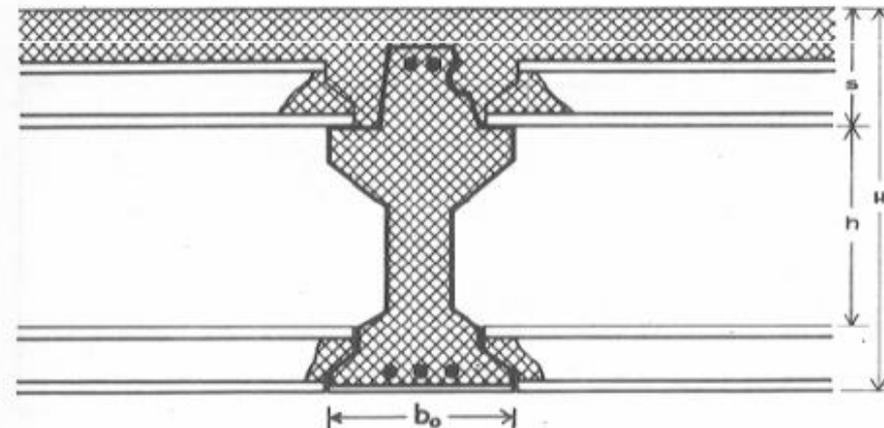
**Travi sagomate a doppia  
armatura eseguite fuori opera  
+ soletta di circa 3 cm di  
spessore che completa l'intero  
sistema**

**Alleggerimento mediante  
tavole di laterizio in duplice  
ordine**

Solaio tipo "VARESE".

Larga diffusione a partire dagli  
anni 50' del secolo scorso

Anche per questi solai  
esistevano delle tabelle di  
carico in funzione dell'altezza  
del solaio ed interasse

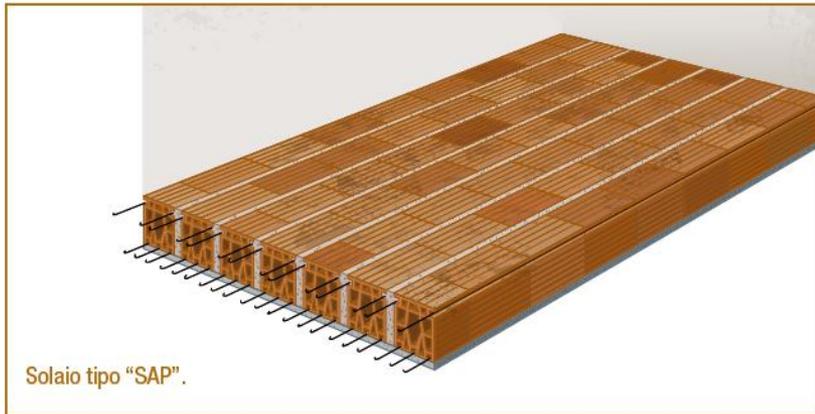




1 Il patrimonio edilizio esistente

## 1.2 I solai italiani e criticità di intervento

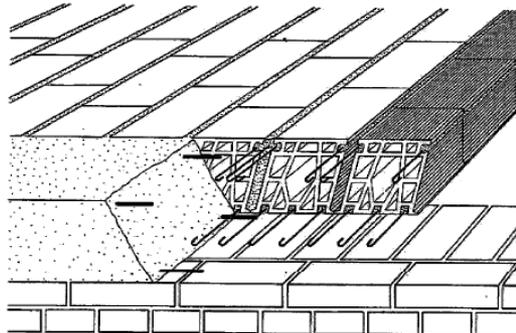
### SOLAIO TIPO SAP



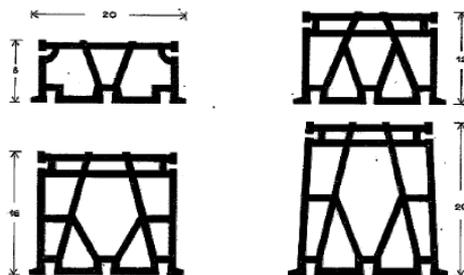
SOLAIO SAP - Portata sino a m 6

Soletta costituita da travi in laterizio armato confezionate a pié d'opera, accostate e collegate tra loro con malta di cemento, caratterizzata da una grande suddivisione dell'armatura metallica in tondi di piccolo diametro posti a distanze non superiore a cm 7.

La larghezza delle travi è costantemente di cm 20. La larghezza minima dei canaletti di sigillatura tra le travi è di cm 2,5. I momenti di servizio ammissibili dedotti sperimentalmente, con coefficiente di sicurezza alla fessurazione 1,2 e coefficiente di rottura 2,5 sono riportati nella tabella.



Tipo di struttura	Peso propr. kg/m <sup>2</sup>	Momenti totali massimi di servizio in kgm riferiti alla serie di solai larga ex 1				
SAP 8	85	230	290	405	—	—
SAP 12	110	385	540	655	—	—
SAP 16	130	615	720	960	1290	—
SAP 20	175	700	1170	1430	1890	2025
Armatura per ogni trave (largh. cm 20 (g mm))		3 Ø 3	3 Ø 4	3 Ø 5	3 Ø 6	4 Ø 6
Carico di snerv. minimo dell'acciaio $\sigma_s$ kgf/mm <sup>2</sup>		70	60	55	50	50

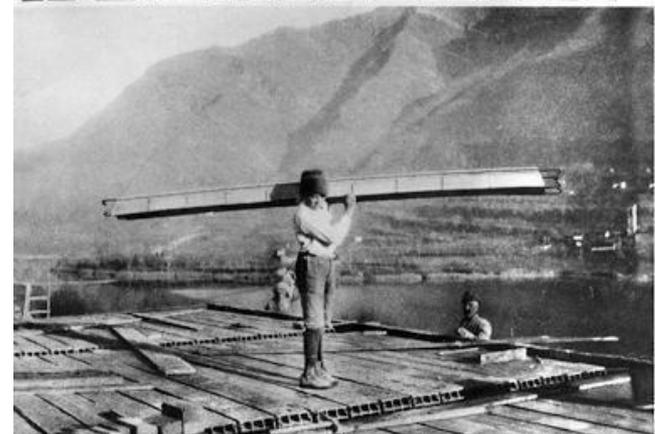


Solaio brevettato nel 1925 dalla RDB di Piacenza conosciuto come solaio S.A.P. (solaio auto portante)

**Nervature di 2,5 cm poste ad interasse di 22,5 cm**

**Solai molto diffusi ed impiegati su intero territorio nazionale**

### SOLAIO SAP



## DIFFUSIONE DEL LATERO – CEMENTO IN ITALIA

A partire dal dopoguerra (anni 40') iniziò la diffusione di solai a travetti di laterizio armati e prefabbricati il cui dimensionamento faceva riferimento al **Regio Decreto n.2229 del 16/11/1939** impiegato per oltre trent'anni sino all'entrata in vigore della legge n.1086 del 5/11/1971

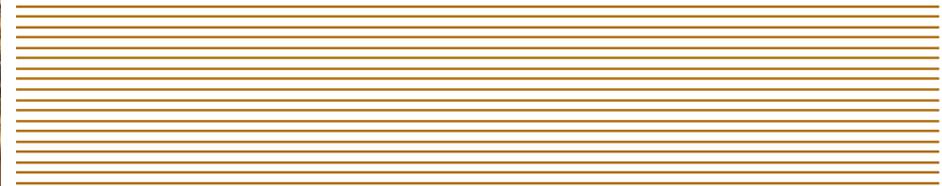


In particolare l'art. 25 del Regio Decreto 2229 diceva:

- Lo spessore di una soletta (che non sia di semplice copertura) non deve essere inferiore ad **1/30 della portata ed in ogni caso non inferiore a 8 cm**;
- Nei solai speciali con laterizi la soletta deve essere di **almeno 4 cm**;
- In tutti i solai con laterizi la **larghezza delle nervature non deve essere inferiore a 7 cm** ed il loro **interasse non deve superare i 40 cm** nei tipi a nervature parallele e 80 cm in quelli incrociati;
- Di regola devono essere previste nervature trasversali per luci maggiori di 5 m in quelli a nervature parallele;
- **È consentito l'uso di solai speciali con nervature in cemento armato e laterizi, senza soletta di conglomerato, purchè i laterizi, di provata resistenza, presentino rinforzi di conveniente spessore atti a sostituire la soletta di conglomerato e rimangano incastrati tra le dette nervature.**



***Perché intervenire sui  
SOLAI ESISTENTI***

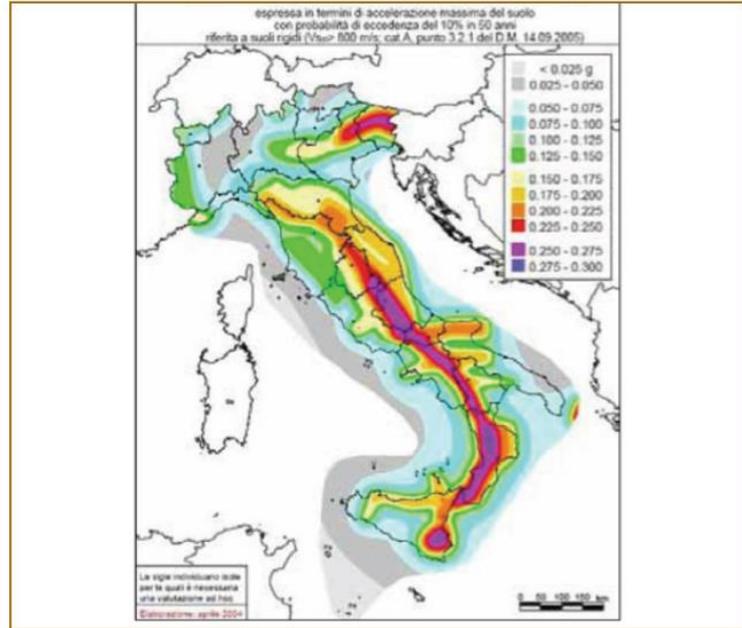


***Miglioramento del  
comportamento sismico***

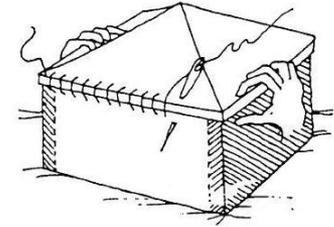
***CONSOLIDAMENTO ANTISISMICO***



Mapa di pericolosità sismica del territorio italiano (INGV).



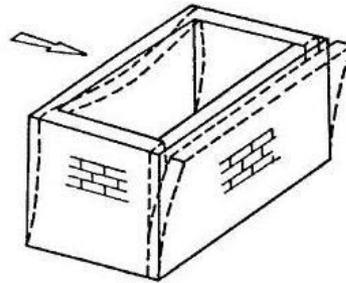
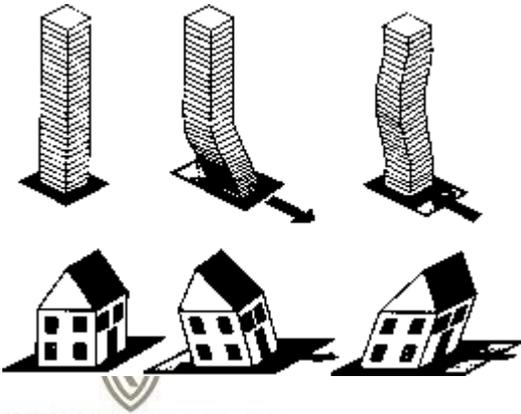
Murature connesse tra loro da un solaio con caratteristiche di diaframma rigido



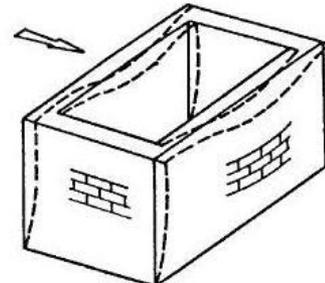
Esempio di meccanismo locale di collasso.



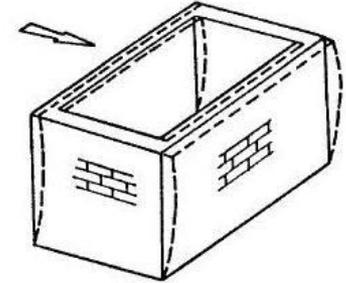
Meccanismo di risposta globale



NO cordolo  
Solaio deformabile

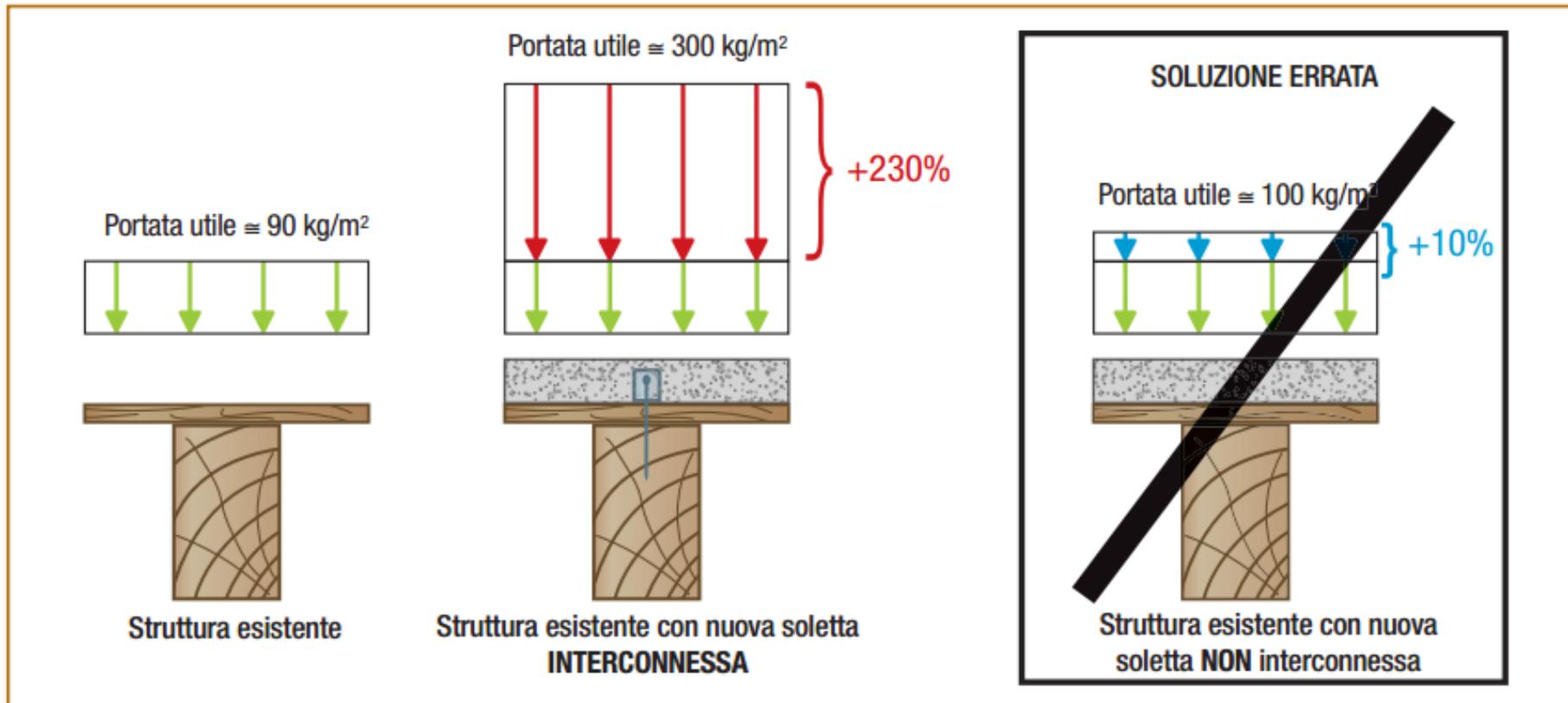


CON cordolo  
Solaio deformabile



***Aumento della portata dei  
solai***

***CONSOLIDAMENTO STATICO***



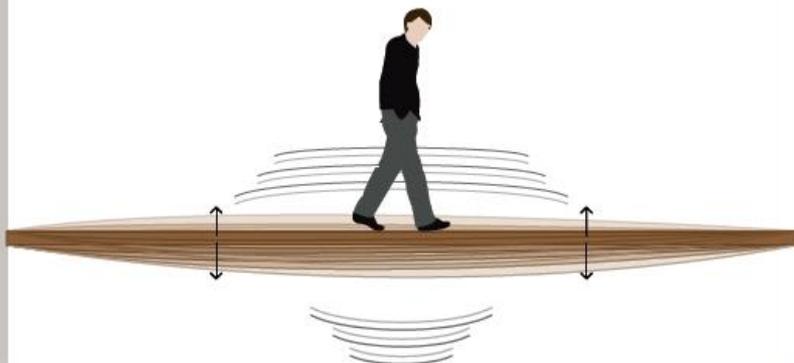
L'interconnessione tra trave e nuova soletta consente di **aumentare fino al 200%** la portata utile del solaio, a parità di deformazione ammessa, rispetto alla soluzione non interconnessa (esempio calcolato su un solaio in legno con luce 4,5 m, sezione travi 10x18 cm, interasse travi 60 cm). L'impiego di **calcestruzzi leggeri strutturali** favorisce un **ulteriore incremento** della portata utile del solaio e una riduzione dei carichi permanenti che gravano sulla struttura esistente.

***Miglioramento del  
comportamento flessionale***



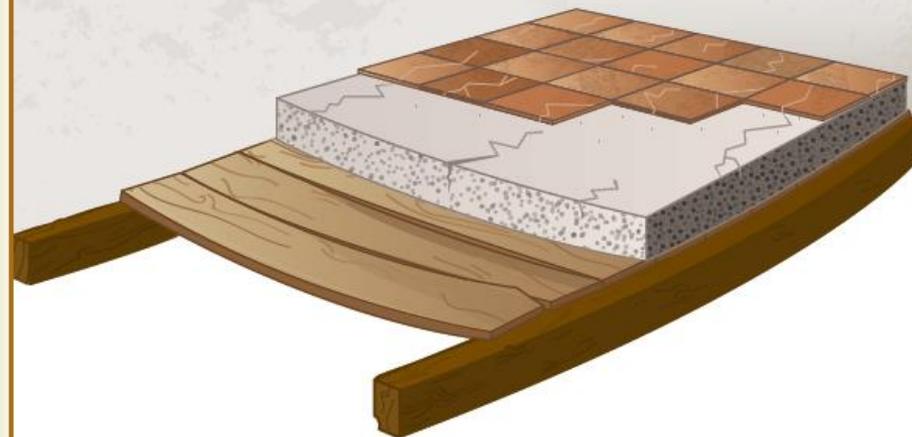
# Miglioramento del comportamento Flessionale del solaio ECESSIVA DEFORMAZIONE

## Vibrazioni

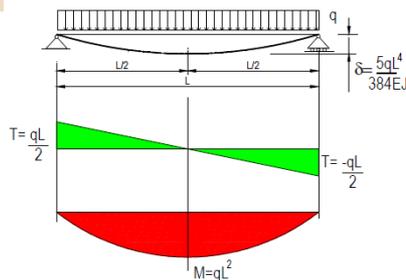


Solaio eccessivamente deformabile, con evidenti vibrazioni provocate dal calpestio.

## Danneggiamento



Solaio eccessivamente deformabile, con conseguenti danneggiamenti del massetto e della pavimentazione sotto carico.



# ***Miglioramento delle prestazioni del divisorio***

## 2.4 Miglioramento delle prestazioni tecniche del divisorio orizzontale

L'intervento di consolidamento e rinforzo del solaio esistente con la tecnica della soletta collaborante produce altri significativi benefici nel comportamento del divisorio orizzontale.

### Isolamento acustico

La formazione di una nuova soletta in calcestruzzo, abbinata ad uno **specifico materassino acustico anticalpestio** e laddove possibile ad un massetto di finitura, consente di **migliorare** sensibilmente le prestazioni di **potere fonoisolante apparente al rumore per via aerea  $R'_{w}$**  e il **livello di rumore di calpestio normalizzato per rumori trasmessi per via strutturale  $L'_{n,w}$**  (Legge n. 447 del 26/10/95 e D.P.C.M. 5/12/97).



### Isolamento termico

L'impiego di soluzioni leggere, oltre a favorire il miglioramento del comportamento statico del rinforzo del solaio, assicurano un **aumento dell'isolamento termico del divisorio orizzontale**. Infatti i **calcestruzzi leggeri strutturali** in abbinamento a **massetti di finitura leggeri** (quando lo spessore lo consente), grazie alla **bassa conducibilità termica  $\lambda$** , contribuiscono al **miglioramento della trasmittanza termica** dell'intero divisorio orizzontale con l'obiettivo di raggiungere il requisito di Legge  **$U \leq 0,8$  W/m<sup>2</sup>K**



### Protezione al fuoco

La presenza di una nuova soletta in calcestruzzo favorisce un **miglior comportamento al fuoco del divisorio orizzontale**, grazie alla presenza di uno **strato pieno di materiale isolante incombustibile** (per maggiori approfondimenti contattare l'Assistenza Tecnica Laterlite e scaricare la specifica documentazione su [www.leca.it](http://www.leca.it)).



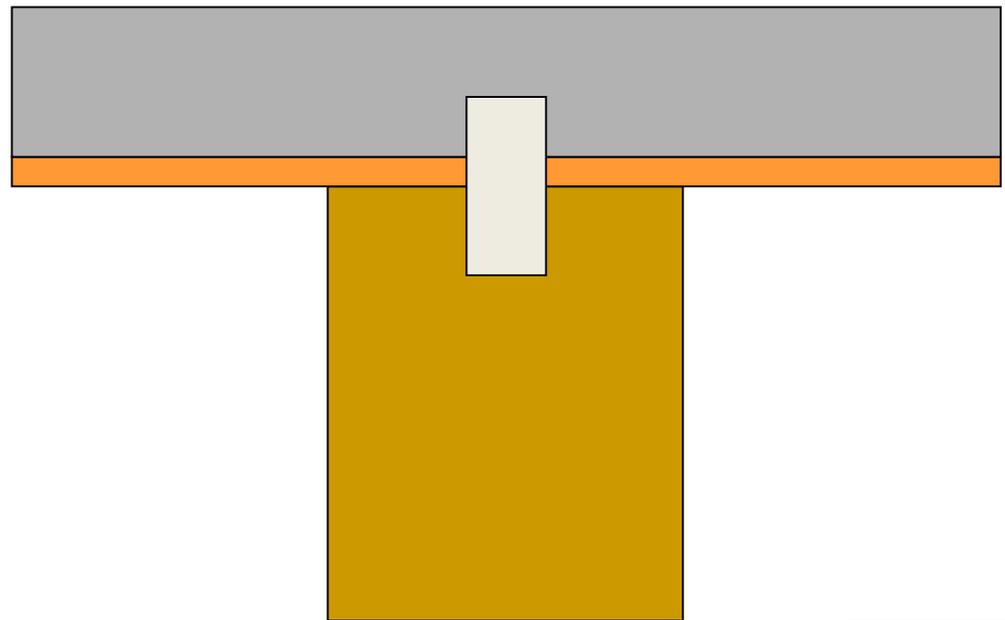


***Consolidamento  
Statico/Flessionale  
mediante la tecnica della  
soletta mista collaborante***



Una **Sezione Mista** è composta da:

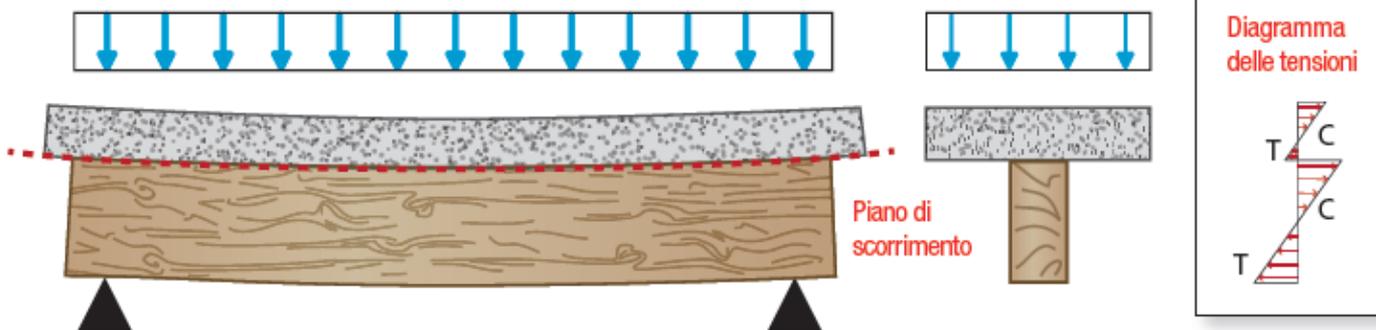
- **TRAVE** (LEGNO, ACCIAIO, Calcestruzzo)
- **Soletta in Calcestruzzo armato** crea un piano rigido e permette la distribuzione dei carichi
- **Connettore**



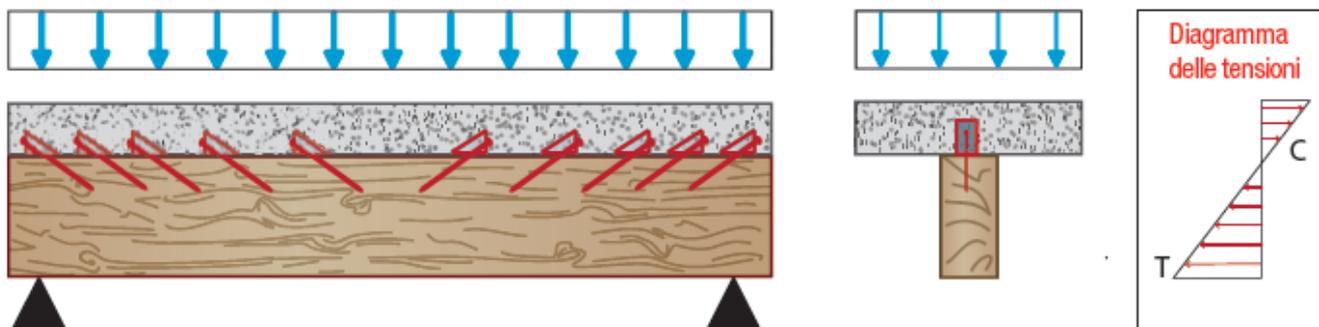
### 3.1.1 La tecnica della soletta mista collaborante



Struttura non interconnessa.

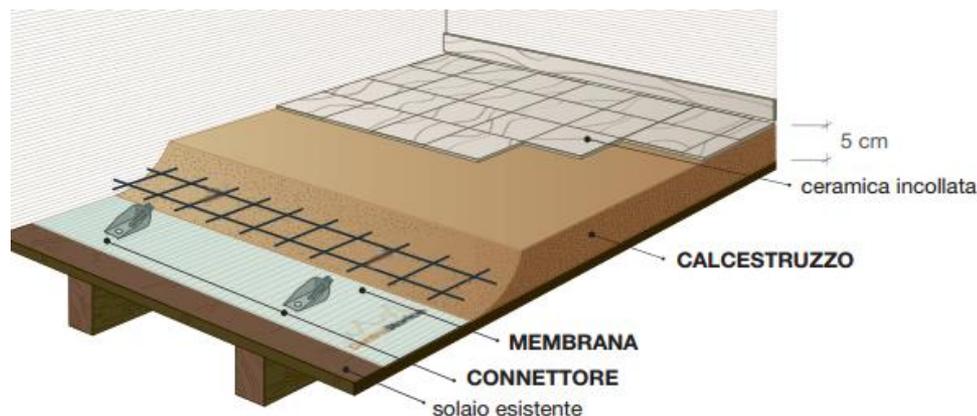
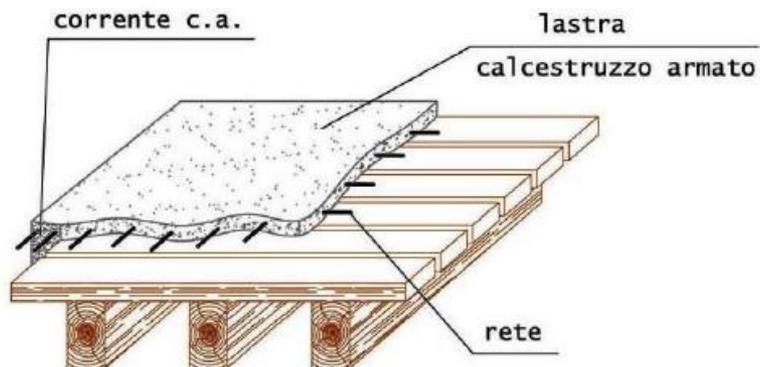


Struttura interconnessa rigidamente (monolitica).



**3 volte** più rigida della struttura non interconnessa e circa il **70% in meno** delle deformazioni flessionali

***L'importanza del  
contenimento dei carichi***



**SOLUZIONE TRADIZIONALE**  
**Calcestruzzo Strutturale**  
**2400kg/mc**

**SOLUZIONE LEGGERA**  
**Calcestruzzo Strutturale**  
**Leca 1400kg/mc**

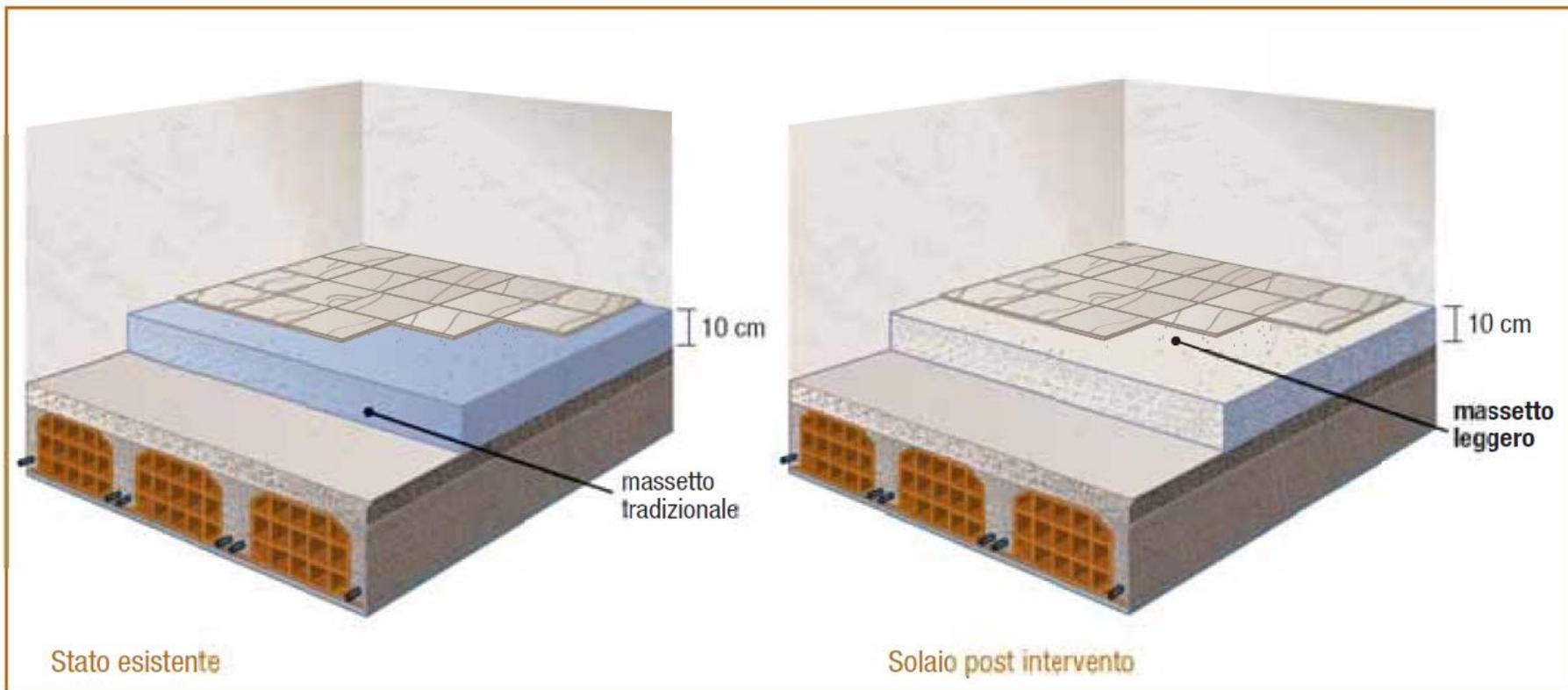
**CIRCA 120 kg/mq**

**CIRCA 70 kg/mq**

**Fino a -40% di peso**



## Fino al 50% in meno di peso



Esempio: rimozione del sottofondo e la formazione di un nuovo massetto di finitura.

L'impiego di massetti leggeri Lecamix consente di ridurre significativamente il peso proprio complessivo sino al **50%** rispetto ad una soluzione tradizionale, a favore di un **eventuale** aumento dei carichi accidentali e/o permanenti portati.



**SOLUZIONE TRADIZIONALE**  
**CIRCA 200 kg/mq**

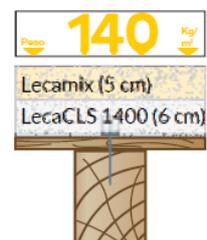
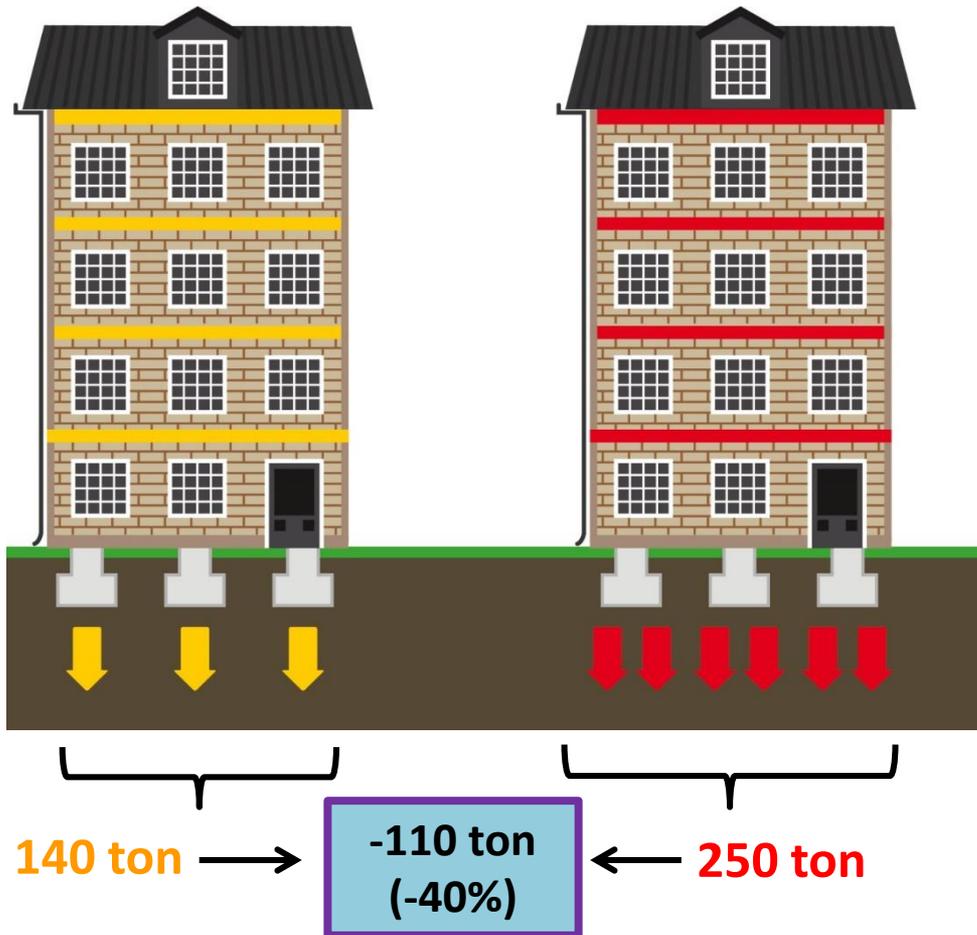
**SOLUZIONE LEGGERA**  
**CIRCA 100 kg/mq**

### 3.1.2 Importanza del contenimento dei carichi



Soluzione leggera.

Soluzione tradizionale.



Soluzione leggera Leca  
PESO -40%



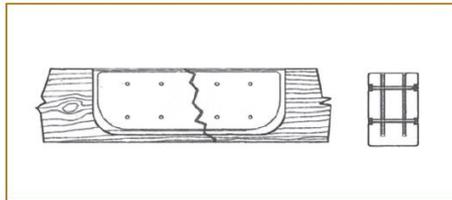
Soluzione tradizionale pesante



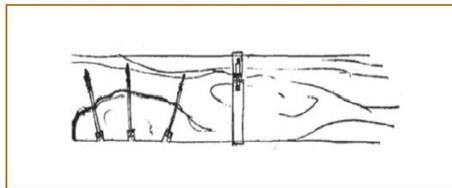
## 3.2 Indagini conoscitive preliminari

- Murature spesso frutto di varie **operazioni di rimaneggiamento** che contengono canne fumarie, discontinuità di fascia muraria, materiale incoerente, etc.
- Strutture di fondazione con **ridotta superficie di appoggio**
- Travi in legno danneggiate e/o **soggette ad attacchi** di funghi e insetti
- Armature tese dei **travetti di latero – cemento** ammalorate
- Laterizi di **solai in condizioni precarie**
- Travi in **ferro esistenti degradate**

Consolidamento con l'inserimento di lamine metalliche



Consolidamento con viti e di staffe di cerchiatura



*Le soluzioni tecniche*

**CONSOLIDAMENTO**

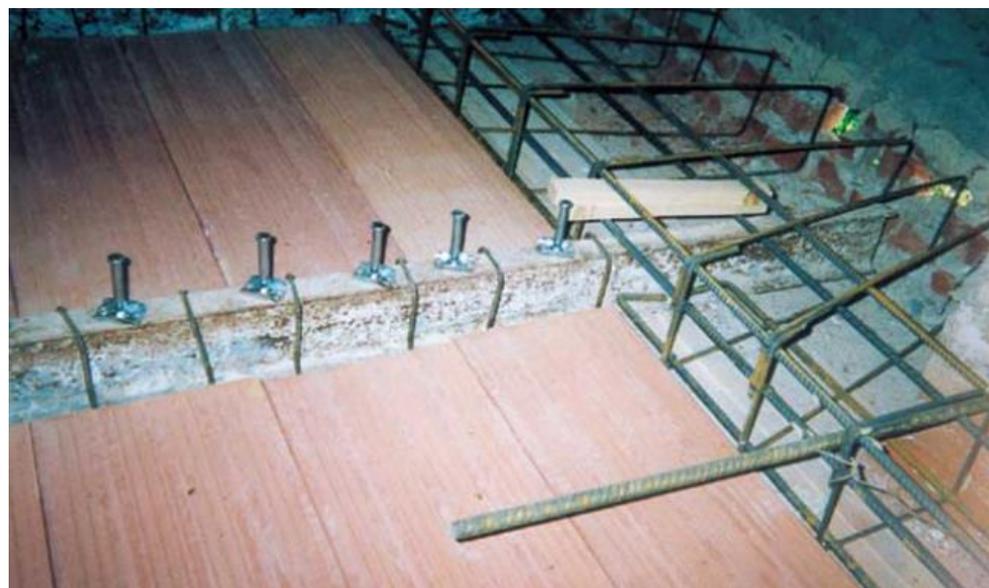
**STATICO/FLESSIONALE**

Connessione Meccanica.

## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



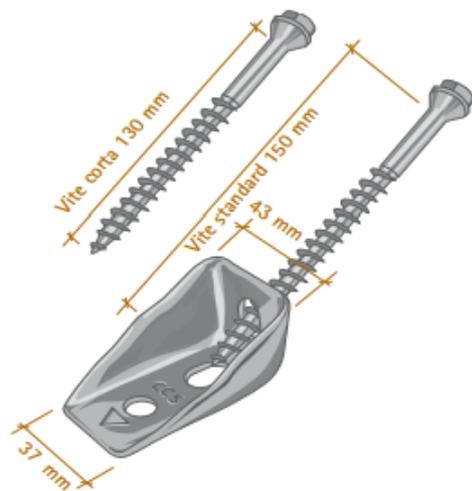
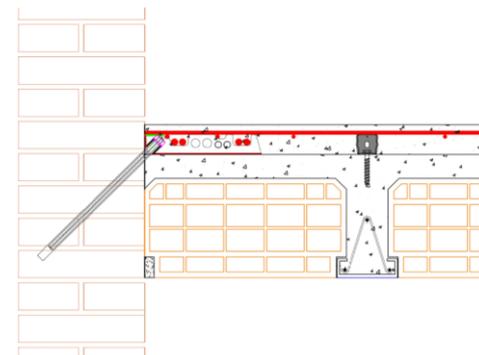
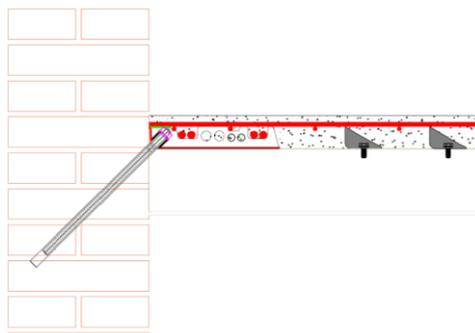
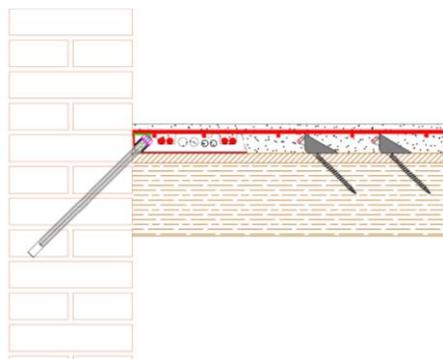
# 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



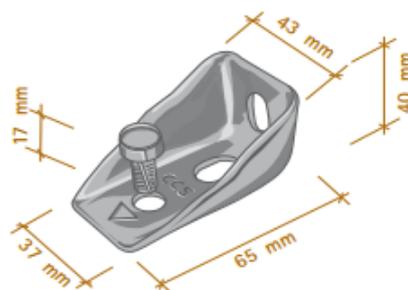
## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



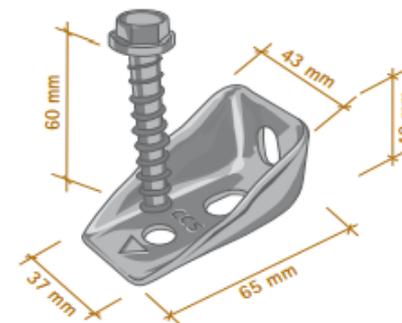
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE



Connettore per solai in legno.



Connettore per solai in acciaio.



Connettore per solai in calcestruzzo.

## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

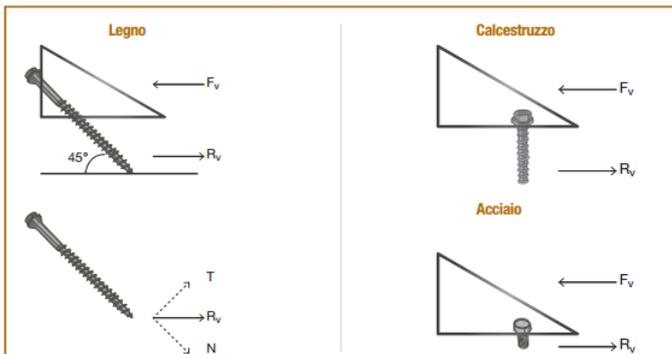
Connettore industrializzato (tipo sistema Connettore CentroStorico)



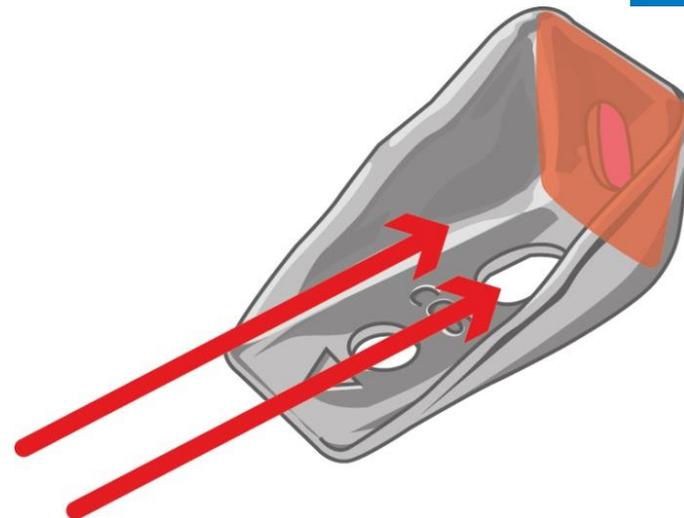
Connettore non industrializzato (tipo sistema "Turrini-Piazza")



Distribuzione delle forze di taglio



$F_v$  = azione;  $R_v$  = reazione;  $N$  = componente di trazione sul connettore;  $T$  = componente di taglio sul connettore.



La particolare **conformazione a cuneo del prisma di base** del connettore centro storico permette di disporre di un'ampia **superficie verticale di contatto** tra connettore e calcestruzzo, che permette un'ottimale **trasmissione delle azioni di taglio**.

**Innovazione tecnica sostanziale rispetto ai sistemi a piolo o a barre piegate**

Interconnessione dei solai in  
calcestruzzo:

Interconnessione chimica.

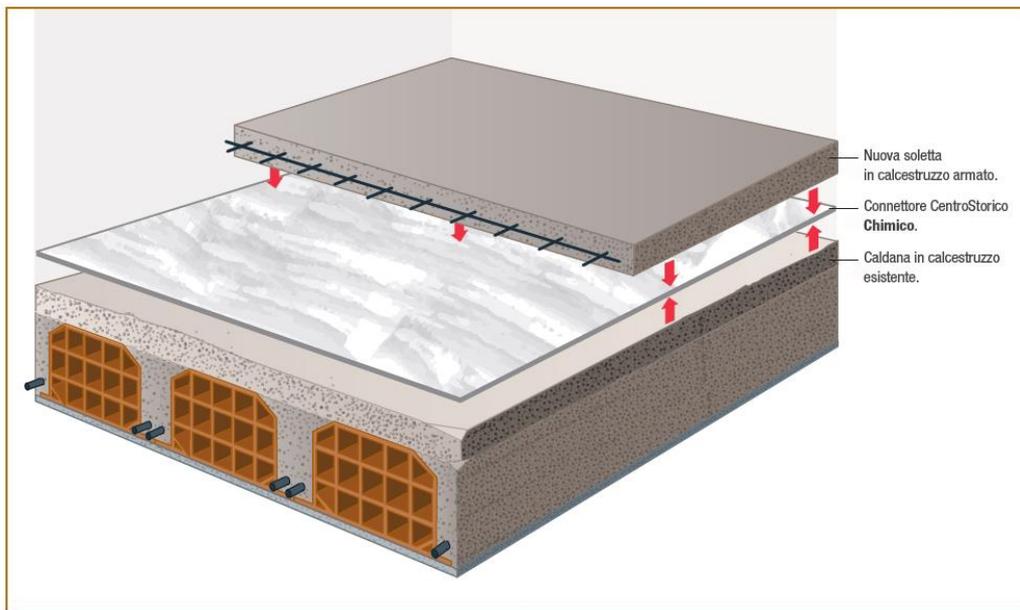
## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

POLITECNICO DI MILANO

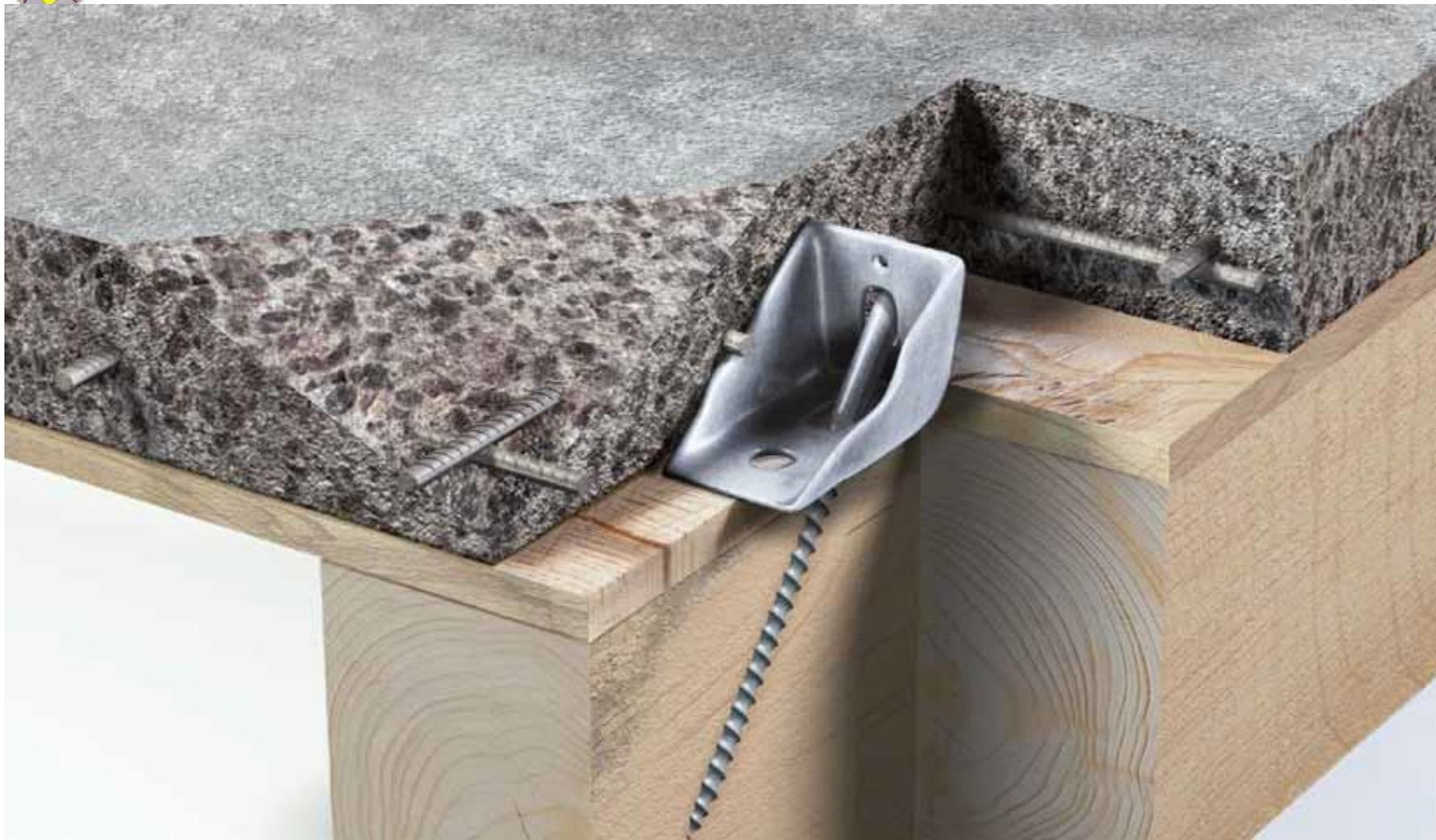


Sistema di **incollaggio strutturale** tra calcestruzzo esistente e nuova soletta collaborante.

Le azioni di taglio vengono trasferite su tutta la superficie



## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

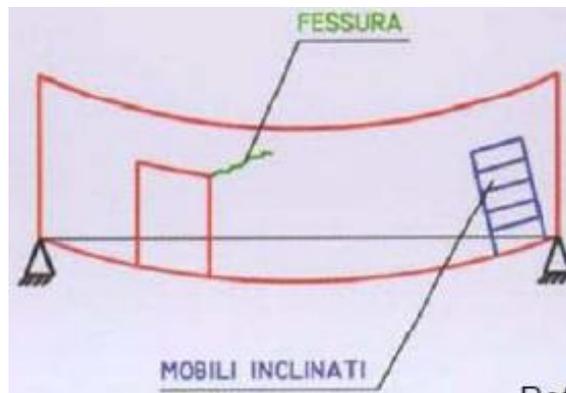
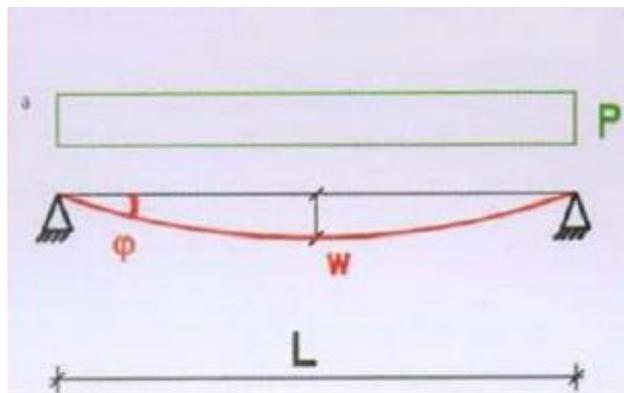


**Il consolidamento dei solai in legno**

## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

Le principali criticità dei solai in legno sono rappresentate da:

- **Eccessiva deformabilità;**
- **Rumorosità al calpestio**

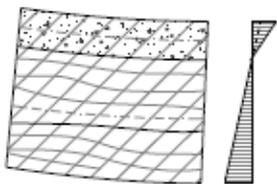


### 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

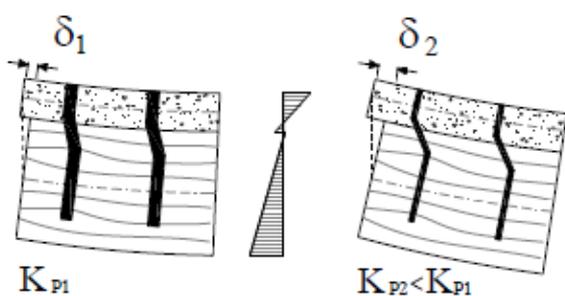
I modelli di calcolo presi in considerazione nella tecnica comune sono i seguenti:

- Metodo n (coefficiente di omogeneizzazione)
- Metodo n modificato
- Metodo di Mohler

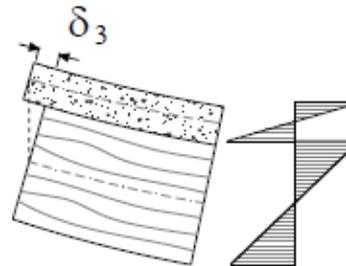
HP di connessione perfetta e sezioni piane



HP di connessione deformabile



HP di connessione assente



**METODO N**

**METODO MÖHLER e  
METODO N MODIFICATO**

$K_p = \infty$   
 $J_{id} = 1.2 - 1.4 J_{eff}$

$K_{p1} \quad K_{p2}$   
 $J_{eff} = 6 - 7 J_0$

$K_p = 0$   
 $J_0 = J_w + J_c$



0 A sfavore di sicurezza  
sottostima il reale stato  
di sforzo e deformazione

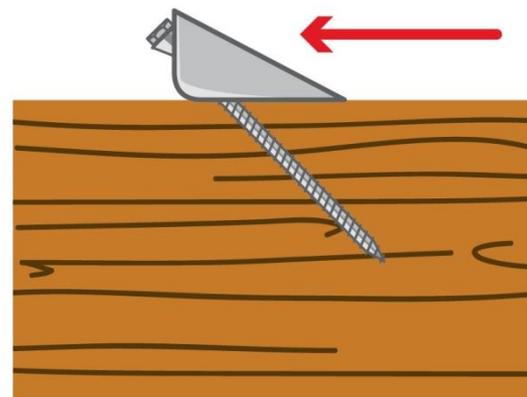
Buona approssimazione  
dello stato di sforzo e di  
deformazione reale

Previsione  
**eccessivamente**  
cautelativa di sforzi e  
deformazioni

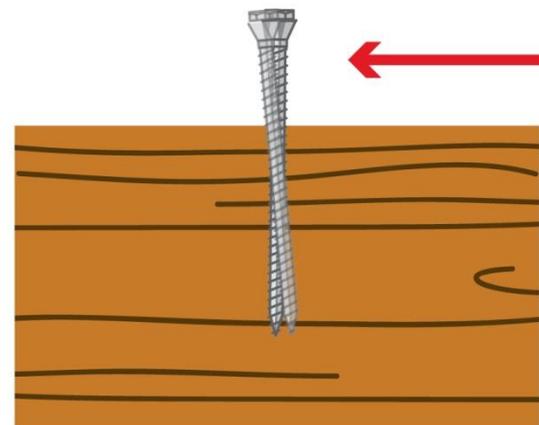
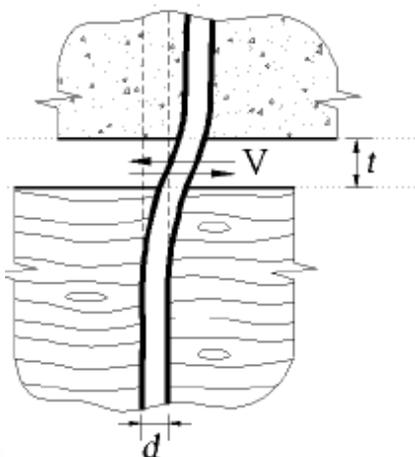
## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

### SISTEMA CON VITE INCLINATA

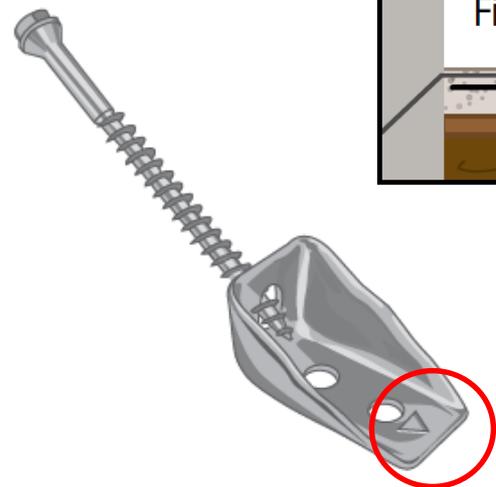
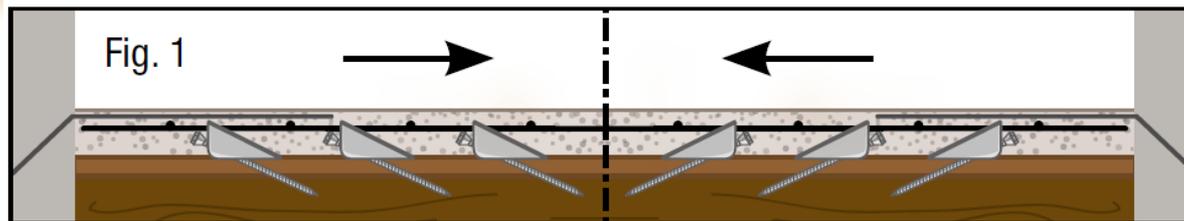
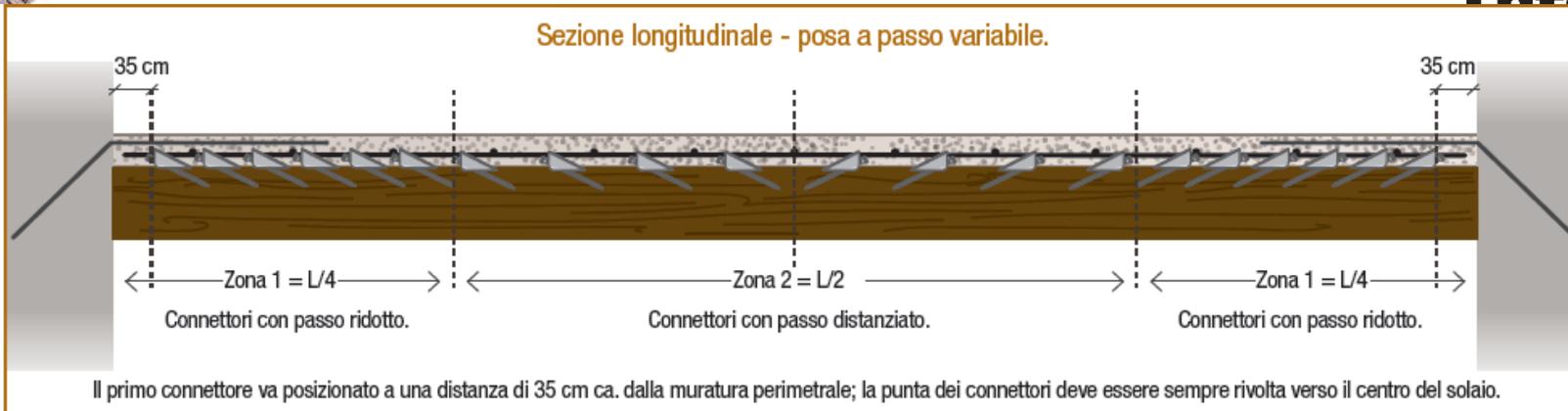
Il connettore CentroStorico Legno, grazie alla disposizione della vite a 45° ottimizza l'interazione con le fibre del legno, lavorando principalmente a estrazione e non solo a taglio – flessione come le viti tradizionali, che sono soggette a rischi di rifollamento nel tempo.



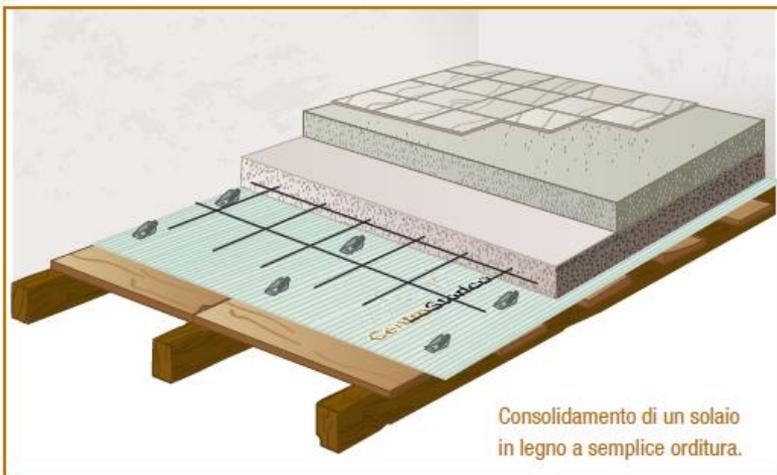
### SISTEMA CON VITE ORTOGONALE AL PIANO



### 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



**Solaio a semplice orditura:**  
Posa orizzontale del connettore  
(per spessori di soletta fino a 8 cm)



**Solaio a doppia orditura:**  
Posa verticale del connettore  
Comunque da preferire quando lo spessore della soletta supera gli 8 cm

## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



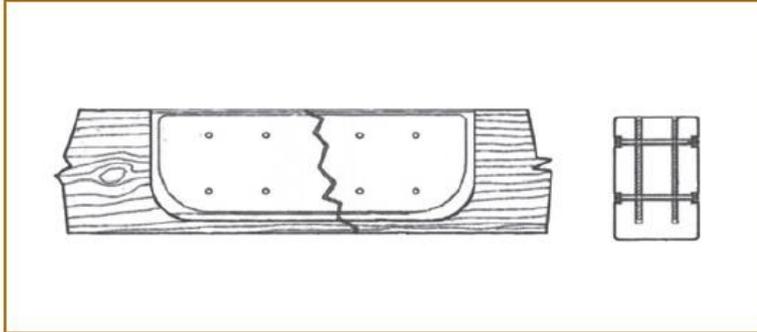
### Messa in opera:

- **Stesura della membrana**
- Tracciamento delle distanze
- Inserimento delle viti senza preforo  
(solo su legni duri eseguire preforo con punta da 6 mm)
- Posizionamento rete metallica
- Getto del CLS leggero

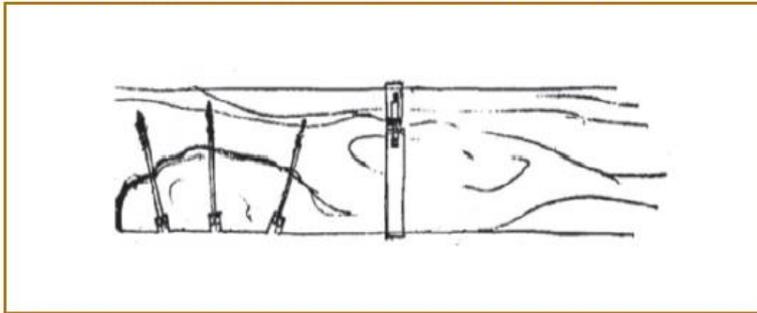
## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

N.B. Precondizione: integrità e sufficiente resistenza delle travi in legno esistenti

### Consolidamento con l'inserimento di lamine metalliche



### Consolidamento con viti e di staffe di cerchiatura



Specie legnose maggiormente utilizzate in Italia:

- **Conifere:** abete (rosso e bianco), pino, larice, douglasia
- **Latifoglie:** quercia (farnia, rovere, cerro, roverella), castagno, pioppo, robinia

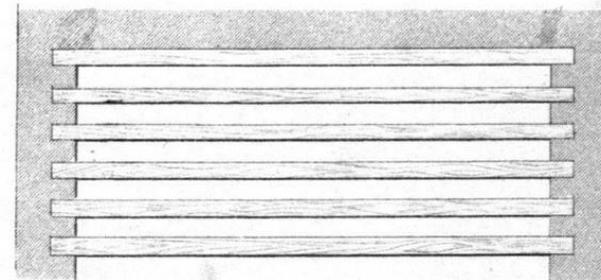
Il pioppo pur essendo una latifoglia viene associato alle conifere perché tecnologicamente molto più simile

## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

### ESEMPIO DI CALCOLO

#### Caratteristiche del solaio da consolidare:

- Solaio in semplice orditura;
- Luce netta delle travi principali pari a circa 4 metri;
- Interasse delle travi pari a 60 cm;
- Sezione della trave in legno 12 x h=18 cm tipo Abete (tipo C24);
- **Soletta collaborante in Leca CLS 1400 spessore 5 cm;**
- Tavolato/Assito con assito in legno spessore 2 cm;
- Carichi di civile abitazione (Cat. A), massetto di finitura leggero tipo Lecamix Facile spessore 7 cm, pavimento 30 daN/mq, tramezze 120 daN/mq, intonaci/controsoffitti 30 kg/mq



## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



Il consolidamento dei solai in acciaio

## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

### Posizionamento Connettori CentroStorico



## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



### **Variante per massimo contenimento dei carichi:**

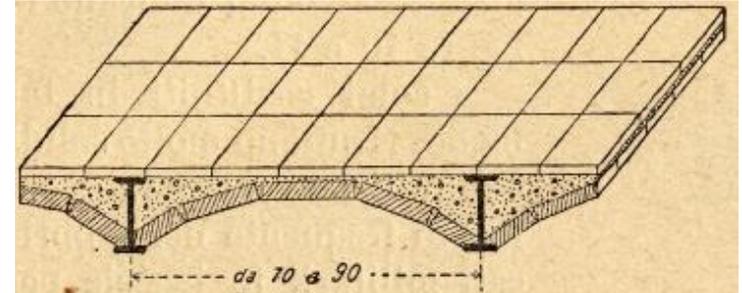
- 1) Livellamento non portante con Lecacem Classic, Lecacem Mini o Leca sfusa fino alla quota dell'ala delle putrelle
- 2) Getto della soletta collaborante in spessore costante

### **Messa in opera:**

- Tracciamento delle distanze - Esecuzione del preforo da 8 mm - Inserimento delle viti
- Posizionamento rete metallica - Getto del CLS leggero

## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

### ESEMPIO DI CALCOLO



#### Caratteristiche del solaio da consolidare:

- Solaio in acciaio;
- Luce netta delle travi principali pari a circa 5 metri;
- Interasse delle travi pari a circa 90 cm;
- Trave in acciaio tipo IPN 160;
- **Soletta collaborante in Leca CLS 1400 spessore 5 cm;**
- Riempimento con voltine e materiale incoerente circa 100 daN/mq;
- Carichi di civile abitazione (Cat. A), massetto di finitura leggero tipo Lecamix Facile spessore 7 cm, pavimento 30 daN/mq, tramezze 120 daN/mq, intonaci/controsoffitti 30 kg/mq

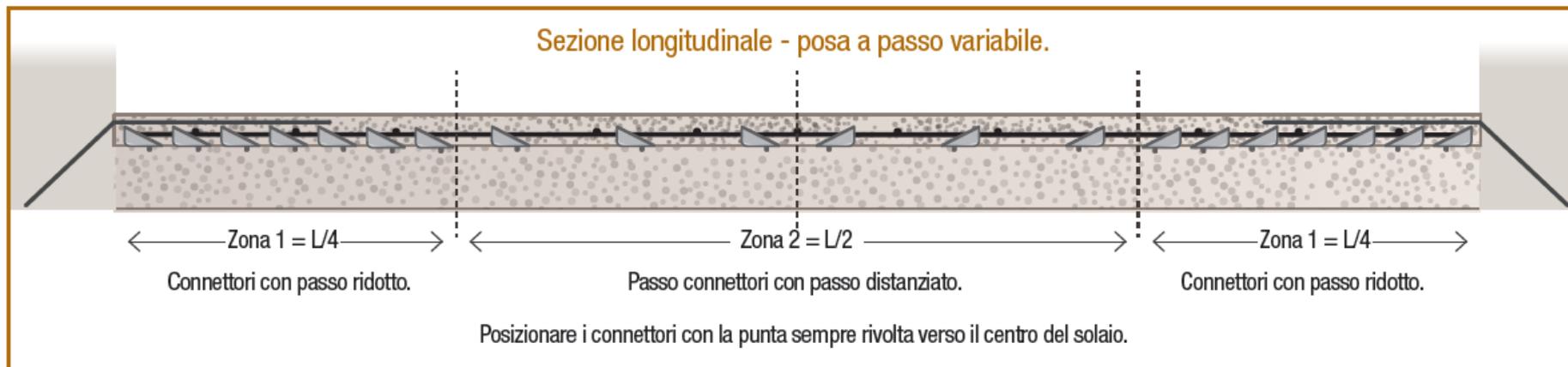
## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



**Il consolidamento dei solai in LC**

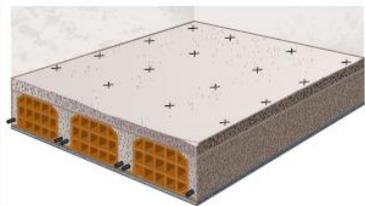
## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

### Posizionamento Connettori CentroStorico



## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

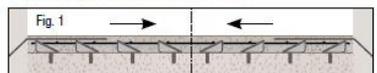
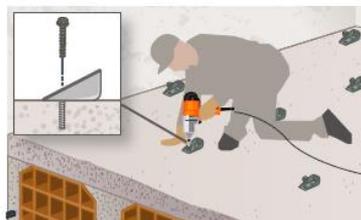
### Applicazione connettore CentroStorico Calcestruzzo



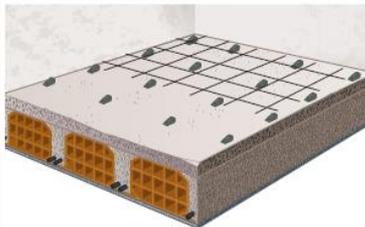
**1** Segnare le distanze a cui vanno posizionati i connettori.



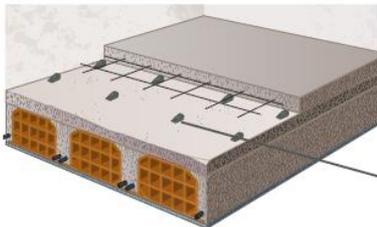
**2** Eseguire il preforo con un trapano e una punta da 8 mm.



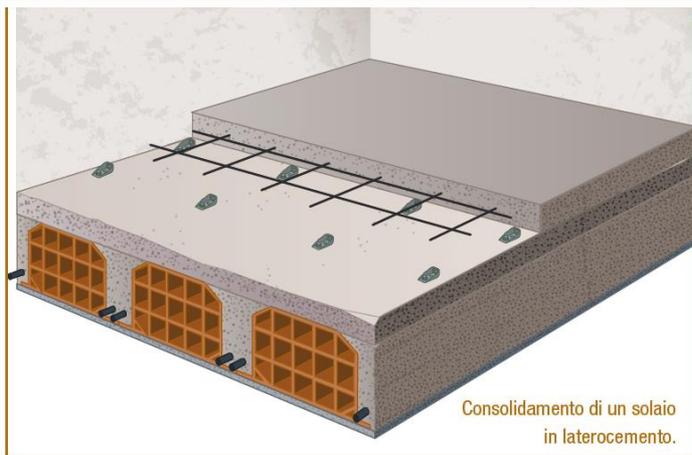
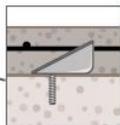
**3** Posizionare i connettori con la freccia rivolta verso la mezzera del solaio (ovvero con la parte posteriore rialzata rivolta verso i muri, vedi fig. 1) e fissarli con le viti inserite nel foro circolare del connettore al calcestruzzo mediante l'avvitatore.



**4** Posizionare la rete metallica.



**5** Gettare il calcestruzzo per la formazione della nuova soletta collaborante.

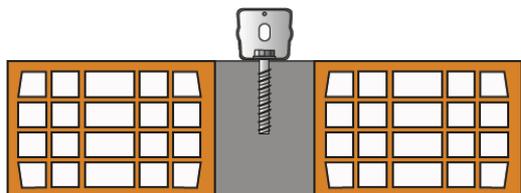


Consolidamento di un solaio in laterocemento.



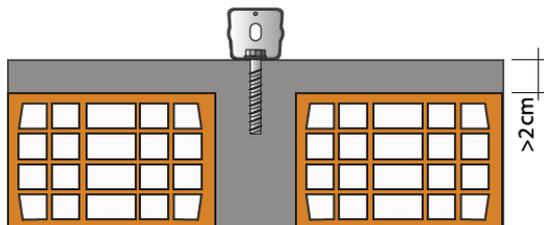
## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

Posa su solaio senza soletta esistente.



8 cm

Posa su solaio con soletta esistente.

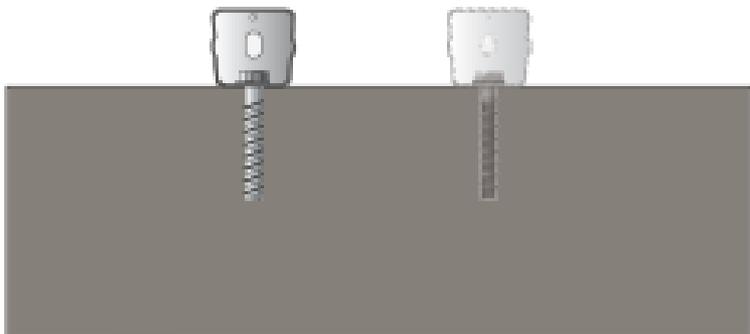
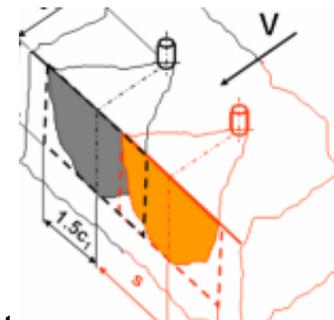


7 cm

>2 cm

**Larghezza del travetto sufficiente a permettere l'applicazione del connettore:**

- 8 cm nel caso di solaio senza soletta esistente o di spessore inferiore ai 2 cm
- 7 cm nel caso di solaio con soletta esistente superiore ai 2 cm



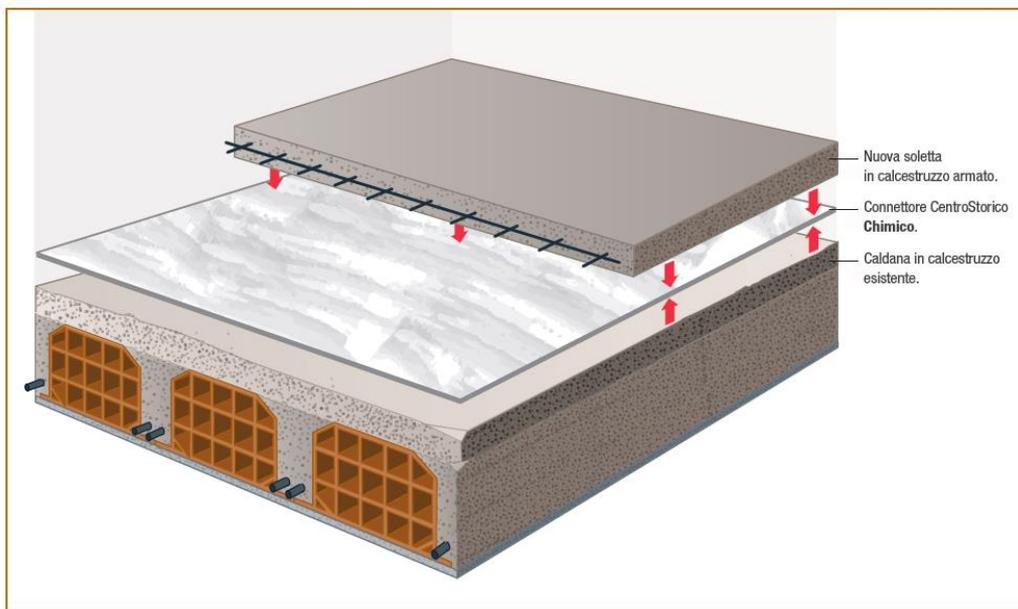
## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

POLITECNICO DI MILANO

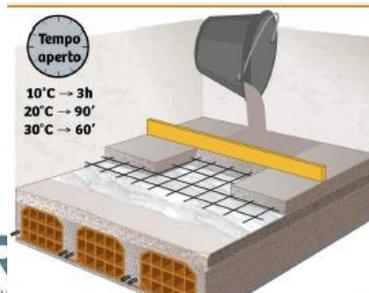


Sistema di **incollaggio strutturale** tra calcestruzzo esistente e nuova soletta collaborante.

Le azioni di taglio vengono trasferite su tutta la superficie



## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO



### AVVERTENZE

- Applicare entro il tempo di vita utile, calcolato dall'inizio della miscelazione; il prodotto miscelato che rimane nel barattolo indurisce rapidamente e diventa non più utilizzabile.
- Non gettare il calcestruzzo fresco su Connettore CentroStorico Chimico indurito.
- Qualora la temperatura scendesse al di sotto dei +10°C, Connettore Chimico potrebbe presentare un aumento della viscosità e la formazione di grumi. Prima di utilizzarlo, scaldare le confezioni immergendo (a confezione chiusa) parte della latta in acqua calda fino alla scomparsa dei grumi.
- Non applicare su superfici bagnate, su supporti polverosi e poco consistenti.

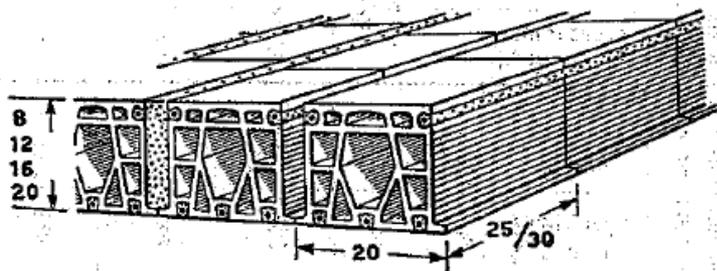
### DURABILITÀ

La normativa di riferimento per la Marcatura CE del prodotto è la UNI EN 1504-4 "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo – Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità – Parte 4: Incollaggio strutturale".

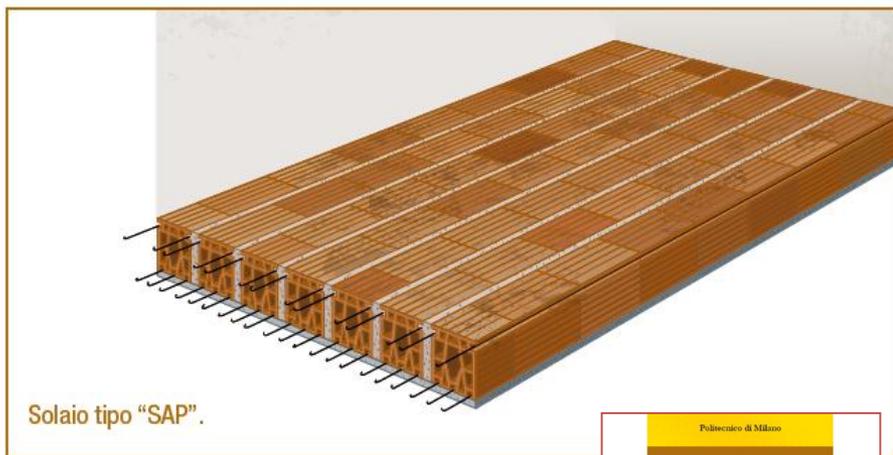
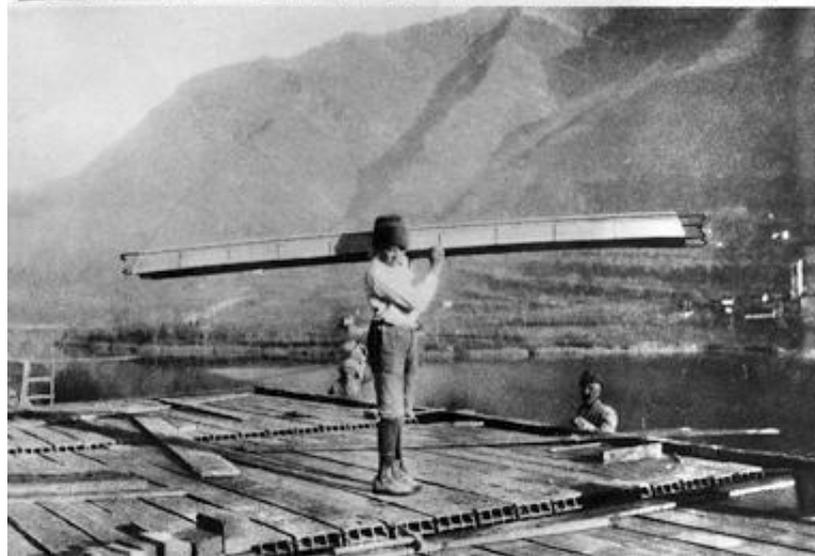
Tra i requisiti prestazionali della Marcatura CE è richiesto quello della Durabilità secondo EN 13733: "Il carico

### 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

S O L A I O S A P



**SOLAIO SAP** ite

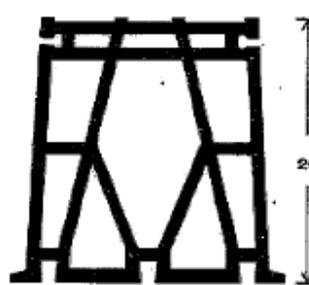
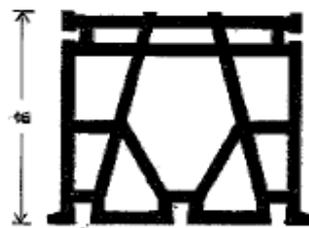
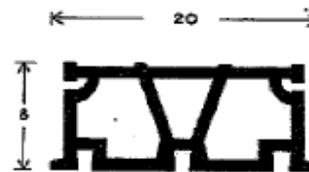


Politecnico di Milano

INDAGINE SPERIMENTALE  
SUL CONSOLIDAMENTO DI SOLAI  
A TRAVETTI ARMATI TIPO SAP

Rinforzo mediante la tecnica  
della soletta mista collaborante:  
• Calcestruzzi Leggeri Strutturali Leca,  
• Connettore CentroSlonico Chimico.

Leca



## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

### SOLAIO SAP – Portata sino a m 6

Soletta costituita da travi in laterizio armato confezionate a pié d'opera, accostate e collegate tra loro con malta di cemento, caratterizzata da una grande suddivisione dell'armatura metallica in tondi di piccolo diametro posti a distanza non superiore a cm 7.

La larghezza delle travi è costantemente di cm 20. La larghezza minima dei canaletti di sigillatura tra le travi è di cm 2,5. I momenti di servizio ammissibili dedotti sperimentalmente, con coefficiente di sicurezza alla fessurazione 1,2 e coefficiente di rottura 2,5 sono riportati nella tabella.

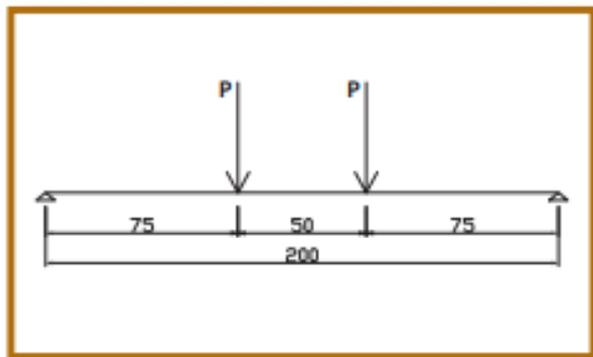
Tipo di struttura	Peso propr. kg/m <sup>2</sup>	Momenti totali massimi di servizio in kgm riferiti alla striscia di solaio larga ca 1				
		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
SAP 8	85	230	290	405	—	—
SAP 12	110	385	540	655	—	—
SAP 16	130	615	720	960	1290	—
SAP 20	175	700	1170	1430	1890	2025
Armatura per ogni trave larga cm 20 (Ø max)		3 Ø 3	3 Ø 4	3 Ø 5	3 Ø 6	4 Ø 6
Carico di snerv. minimo dell'acciaio $\sigma_s$ kg/mm <sup>2</sup>		70	60	55	50	50

Caratteristiche della sezione parzializzata larga 1 metro																Sezione tutta reagente			
Asse neutro				Momento di inerzia				Modulo resistente a compressione				Modulo resistente a trazione				Distanza asse baricentrico	Area della sezione	Momento di inerzia baricentrico	
x	J	W <sub>c</sub>	W <sub>t</sub>	x	J	W <sub>c</sub>	W <sub>t</sub>	x	J	W <sub>c</sub>	W <sub>t</sub>	x	J	W <sub>c</sub>	W <sub>t</sub>				x <sub>c</sub>
1	1,12	409	365	6,95	1,46	683	469	12,35	1,81	990	547	19,1	2,17	1332	614	27,6	4,05	445	3400
2	1,35	865	641	10	1,76	1460	829	17,7	2,15	2150	1000	27,4	2,52	2910	1155	38,95	4,81	745	8955
3	1,43	1059	739	11,05	1,94	1793	924	19,8	2,44	2653	1089	31	2,94	3615	1230	44,8	5,6	600	10000
4	1,61	1744	1085	14,1	2,12	2972	1400	25,1	2,6	4415	1698	38,7	3,05	6045	1983	55,2	6,23	700	20105
5	1,72	2015	1170	15,2	2,36	3443	1462	27,3	3	5150	1720	43	3,55	7105	2000	62,1	7,75	750	21800
6	1,84	2947	1602	18,25	2,42	5037	2080	32,4	2,98	7555	2538	50,4	3,52	10340	2940	71,5	8,1	1050	40155
7	1,98	3300	1670	19,4	2,71	5650	2080	34,8	3,4	8485	2490	54,4	4,03	11685	2890	78	9,5	975	40400
8	2,05	4462	2180	22,4	2,7	7680	2844	39,8	3,32	11520	3470	61,9	3,92	15900	4050	88,1	9,91	1275	68232
		3 Ø 3			3 Ø 4			3 Ø 5			3 Ø 6			N. e Ø tondini inferiori x ogni travetto					

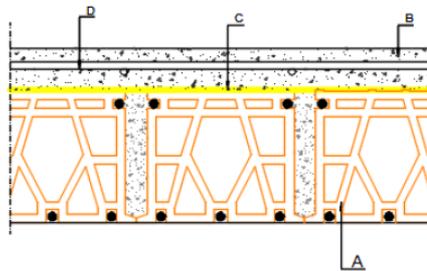
## 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

### OBIETTIVI DELLA RICERCA CONDOTTA

- ❑ Ricostruire solai con stesso rapporto geometrico di armatura dei solai SAP 12 e SAP 16 **intercettando analoghe prestazioni**
- ❑ **Caratterizzare la connessione chimica** (incollaggio strutturale) anche su solai in **scala reale** (effetti di scala) in modo diffuso su laterizio armato
- ❑ **Estendibilità** dei risultati ottenuti
- ❑ **Incremento di carico flessionale** mediante la realizzazione di una cappa collaborante in calcestruzzo strutturale leggero

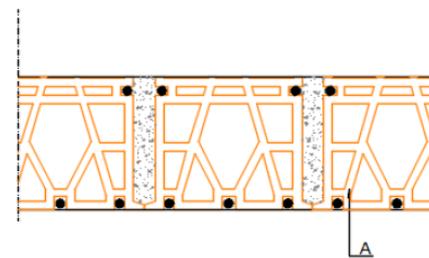


SOLAI SAP CONSOLIDATI (12+5 cm - 16+5 cm)



A: solaio esistente tipo SAP  
B: nuova soletta in calcestruzzo leggero Leca CLS 1400  
C: connettore chimico CentroStorico  
D: rete elettrosaldata

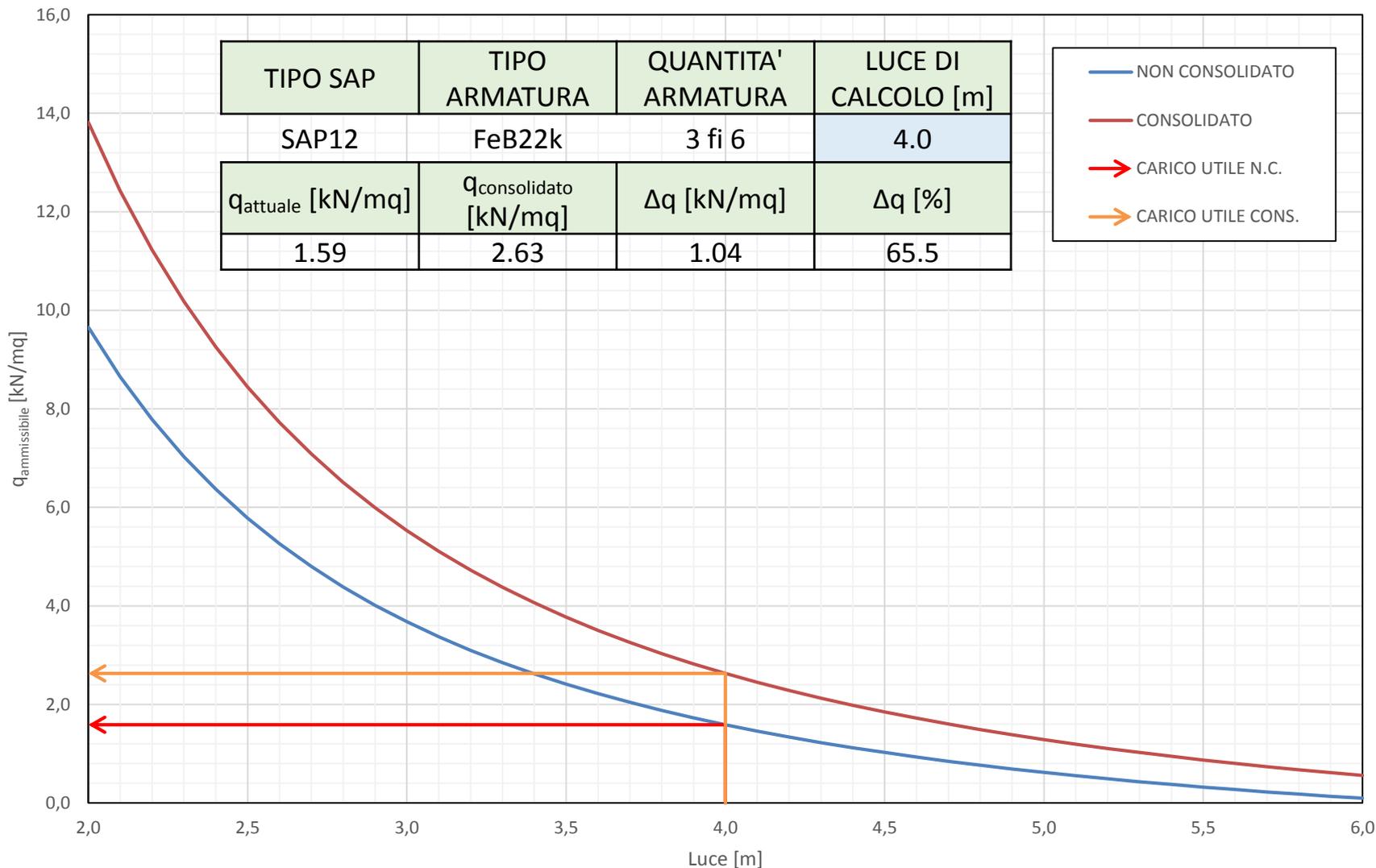
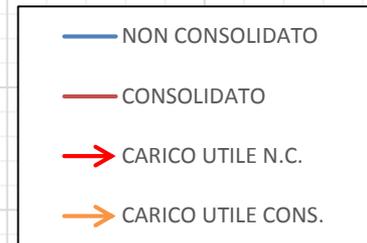
SOLAI SAP NON CONSOLIDATI (12 - 16)



A: solaio esistente tipo SAP 12 - SAP 16

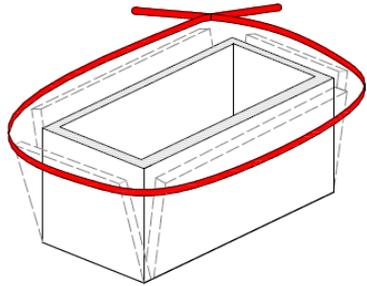
# 3.6 Le soluzioni tecniche: consolidamento STATICO

TIPO SAP	TIPO ARMATURA	QUANTITA' ARMATURA	LUCE DI CALCOLO [m]
SAP12	FeB22k	3 fi 6	4.0
$q_{attuale}$ [kN/mq]	$q_{consolidato}$ [kN/mq]	$\Delta q$ [kN/mq]	$\Delta q$ [%]
1.59	2.63	1.04	65.5

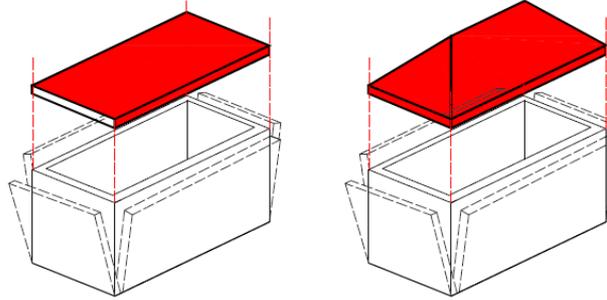


***Ruolo dei diaframmi di piano e dei collegamenti solaio – pareti***

# 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

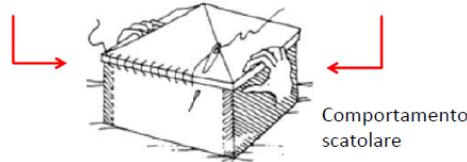


DIAFRAMMI DI PIANO E DI FALDA

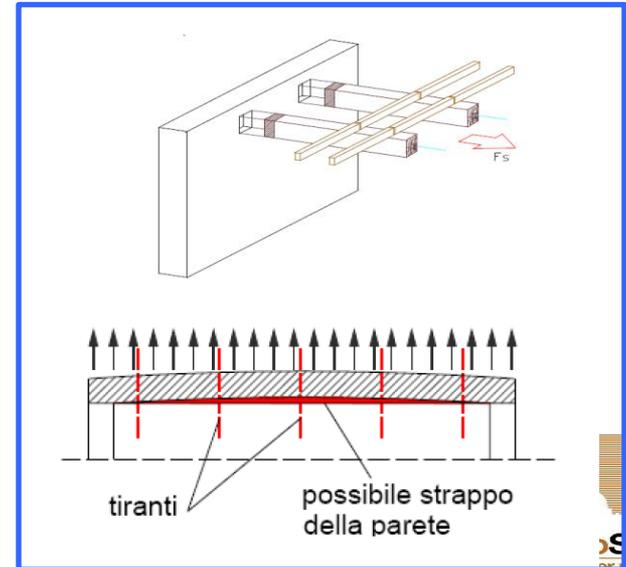
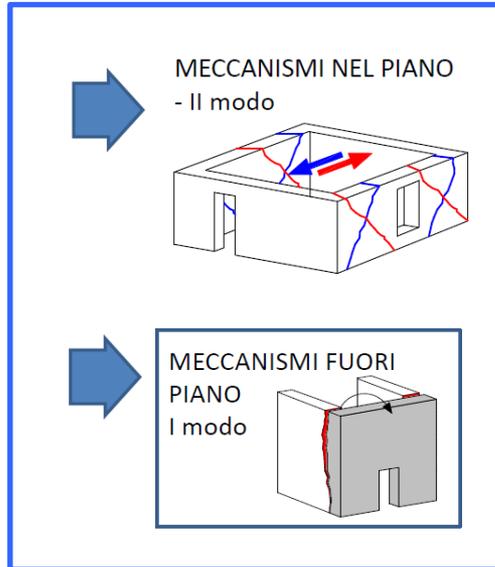
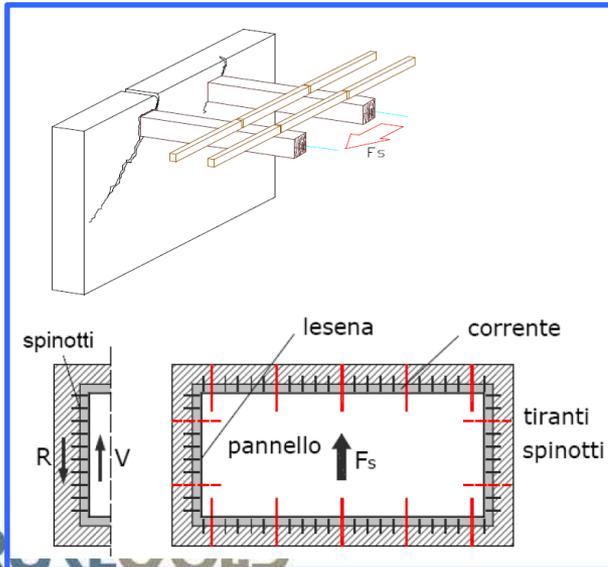
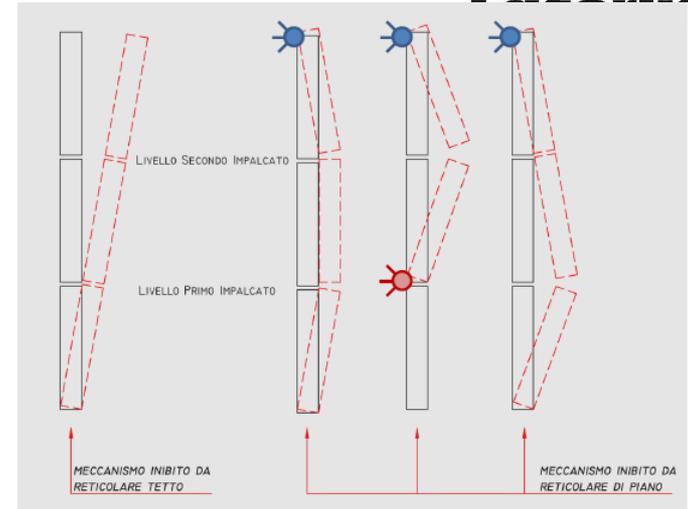


Diaframmi di piano

Diaframmi di falda

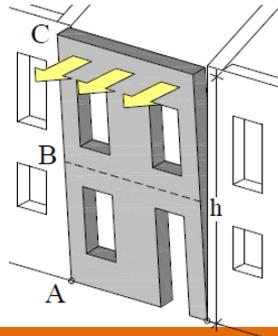


Comportamento scatolare

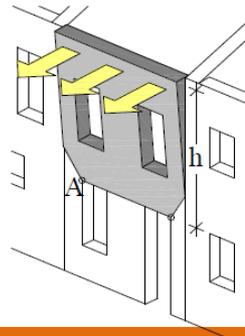


# 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

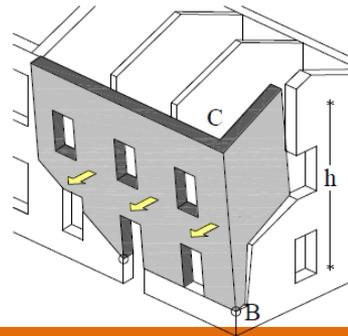
RIBALTAMENTO SEMPLICE



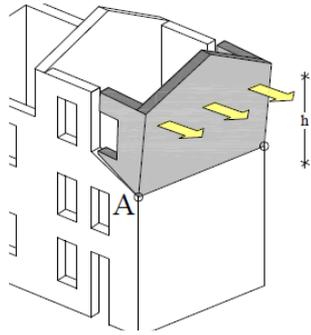
RIBALTAMENTO SEMPLICE



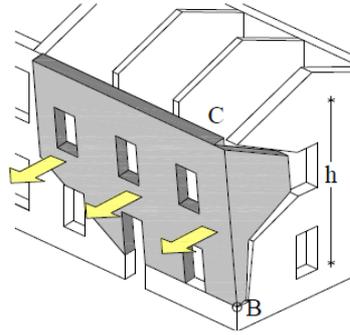
RIBALTAMENTO COMPOSTO



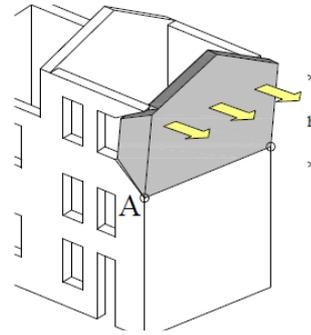
RIBALTAMENTO COMPOSTO



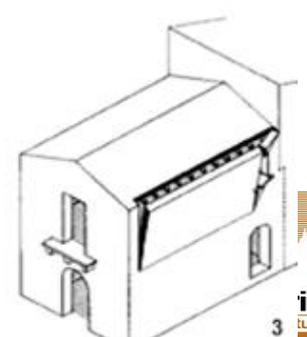
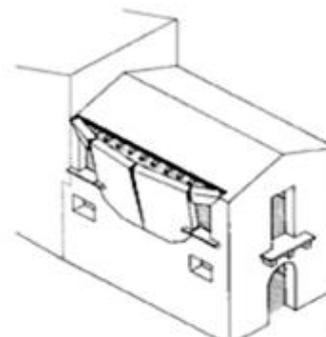
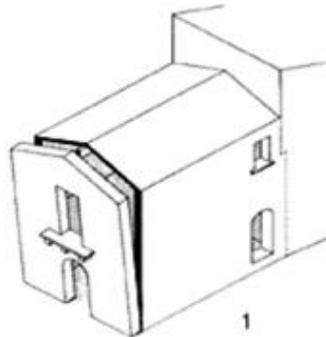
RIBALTAMENTO COMPOSTO



RIBALTAMENTO COMPOSTO



Edifici in MURATURA:  
esempi di  
meccanismi di  
danno fuori piano



## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

Edifici in **MURATURA**: esempi di  
**meccanismi di danno e fuori piano**

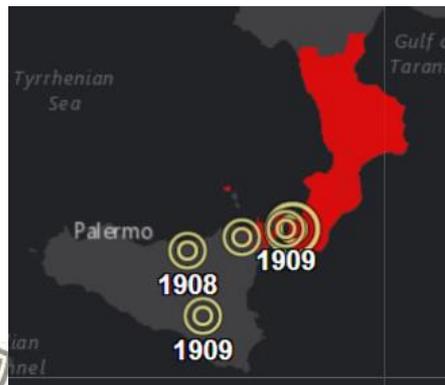
### Stretto di Messina 28/12/1908

Magnitudo 7,1

Scala Mercalli = 11

Nasce il Regio Decreto del  
18/4/1909 e 15/7/1909

Circa 100,000 vittime!!



## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

Edifici in **MURATURA**: esempi di  
**meccanismi di danno e fuori piano**

**Avezzano 13/01/1915**

Magnitudo 7,1

Scala Mercalli = 11

Nasce il Regio Decreto  
n°573 del 1915

Più di 30,000 vittime!!



## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

Edifici in **MURATURA**: esempi di **meccanismi di danno e fuori piano**

Friuli terremoto del 1976

Irpinia 1980



**Legge n°219 del 14/5/1981** come provvedimento per la ricostruzione di Campania e Basilicata ed il **D.M. n°515 del 3/6/1981** che introduce la terza categoria



## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

Edifici in **MURATURA**: esempi di  
**meccanismi di danno e fuori piano**

Assisi 1997



L'Aquila 2009



## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

Edifici in **MURATURA**: esempi di  
**meccanismi di danno e fuori piano**



Amatrice 2016



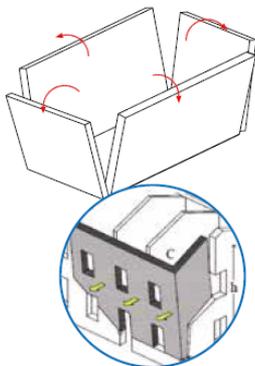
### 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

## Metodi di mitigazione del rischio sismico:

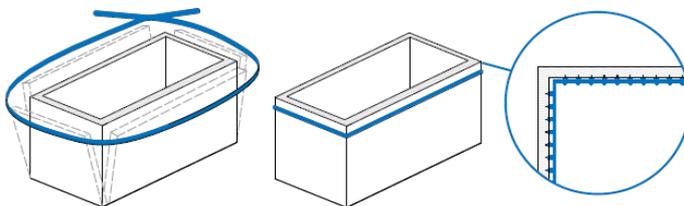
Prevenire o ritardare i meccanismi di collasso fuori piano mediante alcuni sistemi costruttivi che contribuiscono al comportamento scatolare

INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DEL COMPORTAMENTO ANTISISMICO DELL'EDIFICIO.

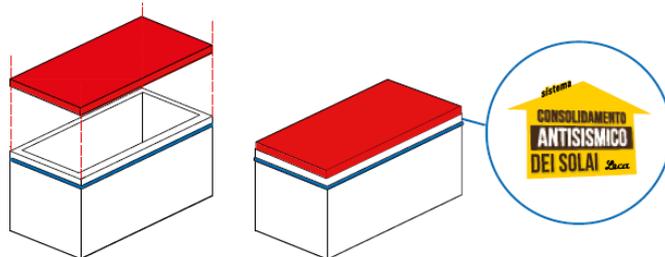
EDIFICIO SENZA COLLEGAMENTI SOLAIO-PARETI.



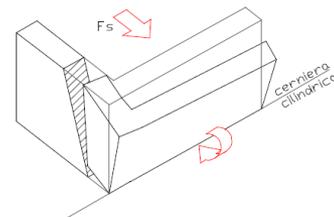
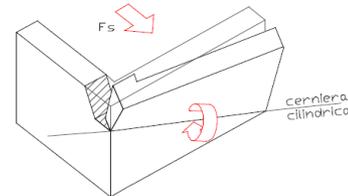
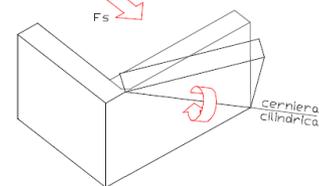
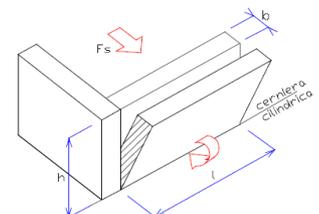
Ribaltamento delle facciate.



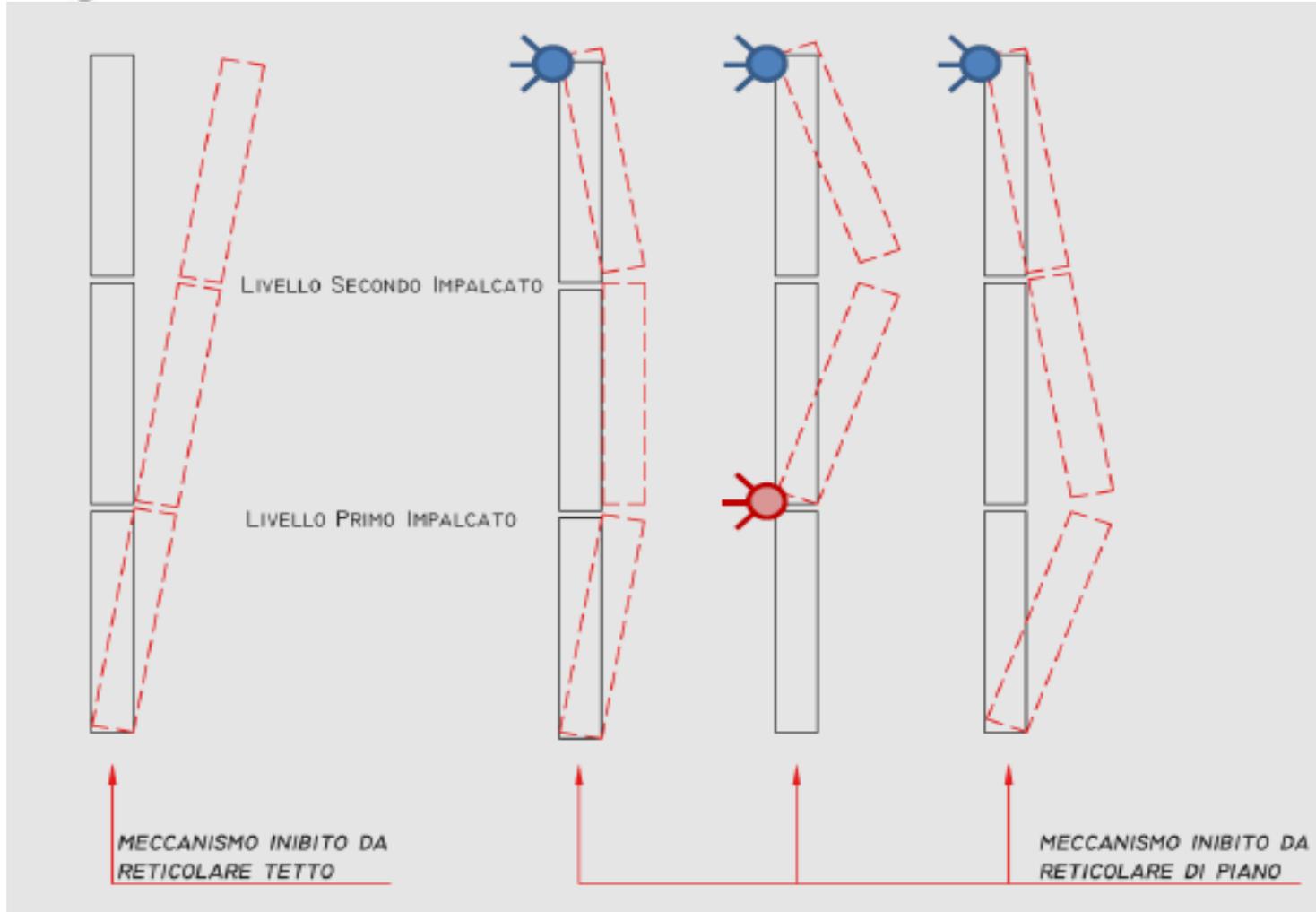
**PERIMETRO FORTE:** formazione della cerchiatura perimetrale per evitare il ribaltamento delle pareti (Connettore Perimetrale).



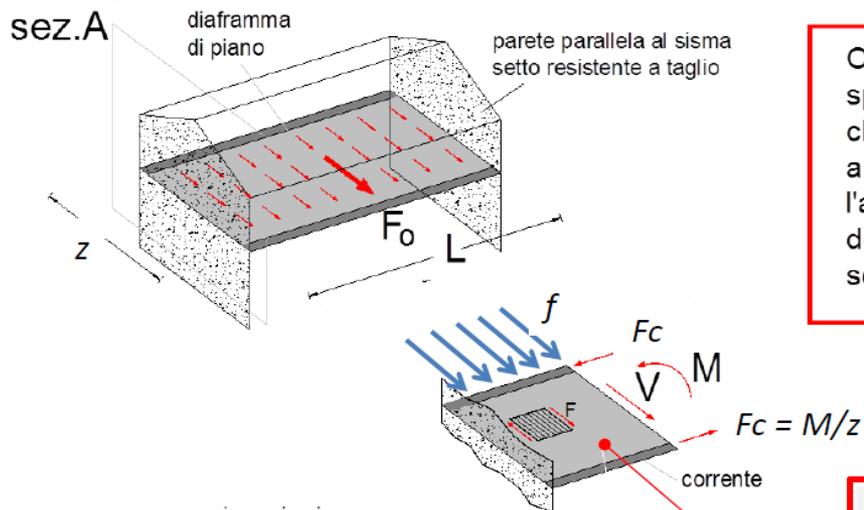
**PIANO RIGIDO:** formazione della nuova soletta collaborante leggera interconnessa al solaio esistente (Calcestruzzo Leca + Connettore CentroStorico).



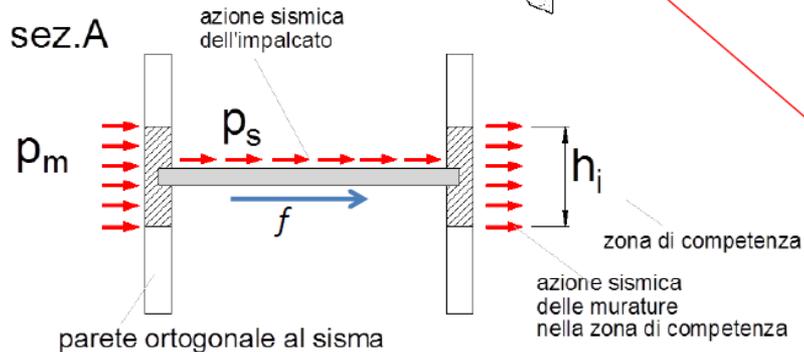
# 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO



# 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

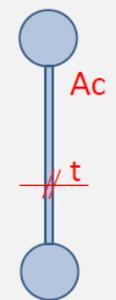


**OBIETTIVO:** organizzare nello spessore del solaio un diaframma che, opportunamente collegato alle pareti perimetrali, trasferisca l'azione sismica dell'impalcato e delle murature di competenza ai setti resistenti al taglio.

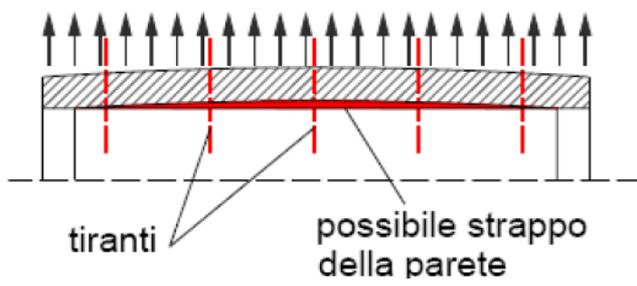
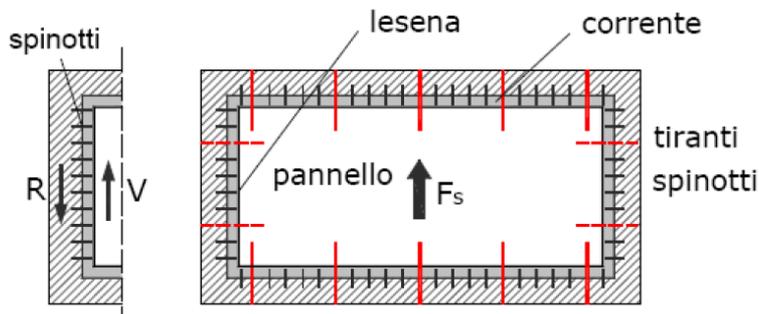
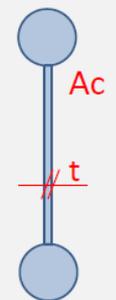


**SUDDIVISIONE DEI COMPITI:**

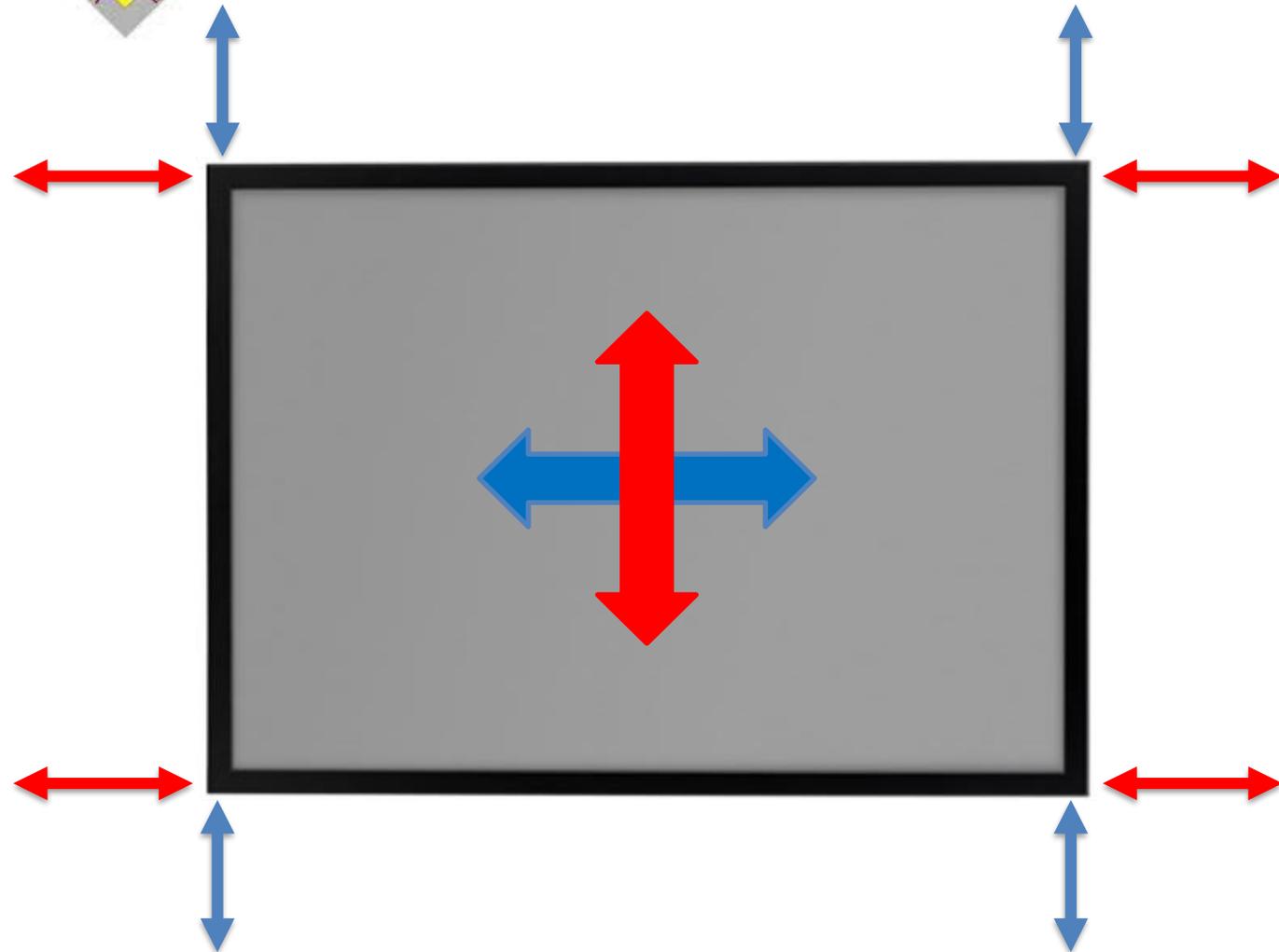
- MOMENTO FLETTENTE AI CORRENTI
- TAGLIO AL PANNELLO D'ANIMA.



**SCHEMA STATICO:**  
ELEMENTO BIDIMENSIONALE A CORRENTI E PANNELLO APPOGGIATO SUI SETTI SISMORESISTENTI

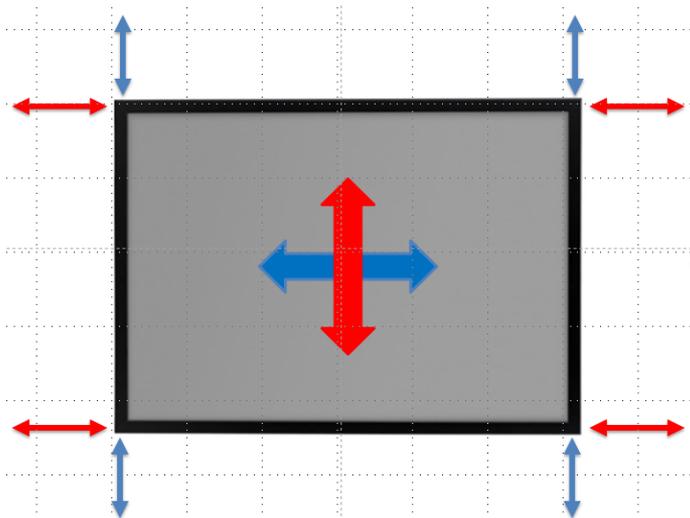


### 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO



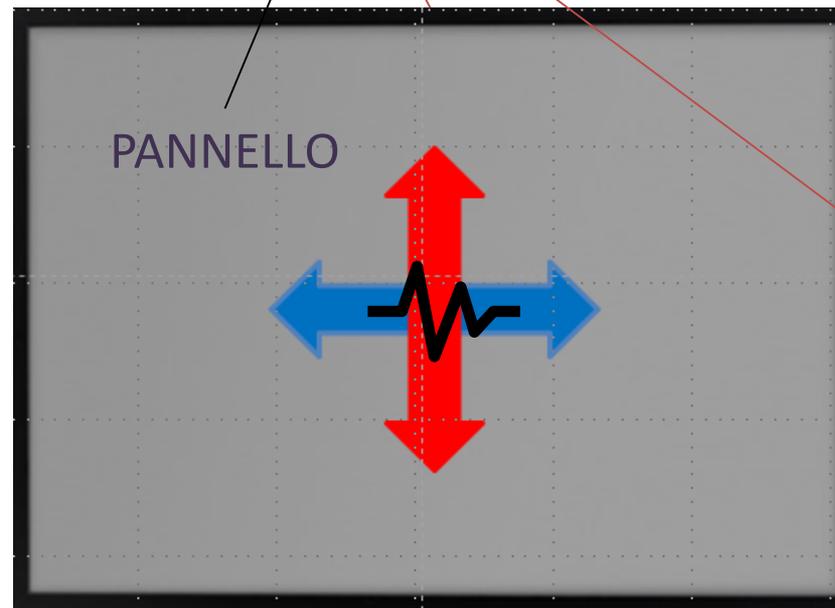
Meccanismo ideale da realizzare («trave alta»)

## 1) Organizzazione del diaframma

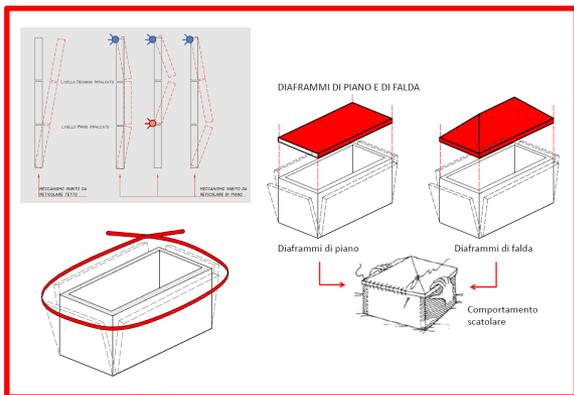


**DIAFRAMMA**

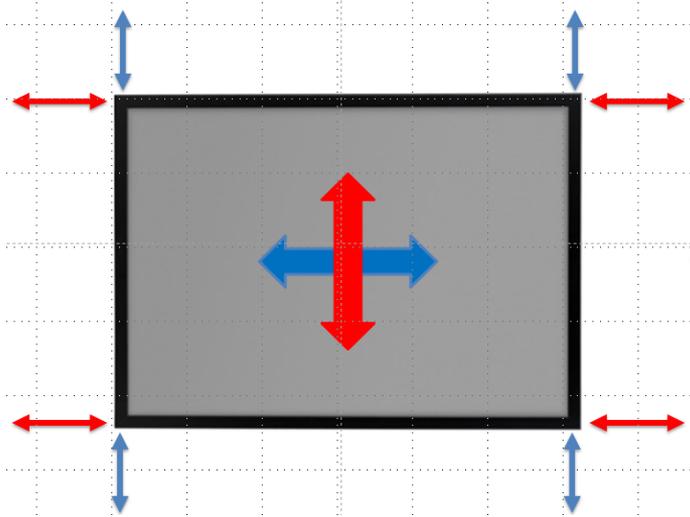
CORRENTI E  
RIPARTITORI



PANNELLO

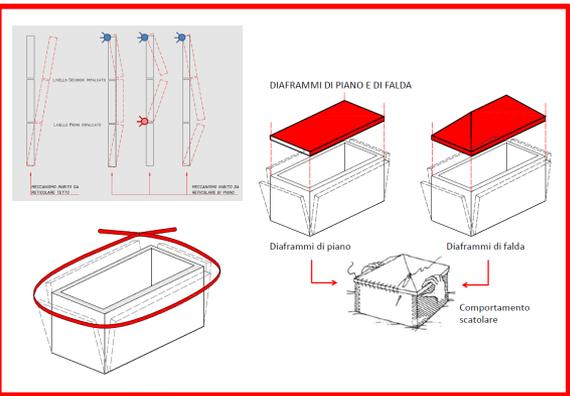
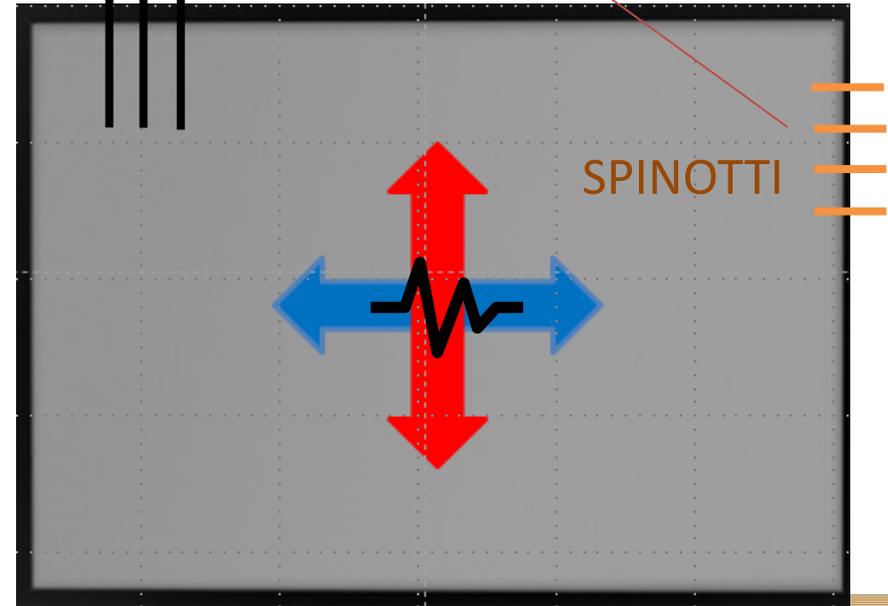


## 2) Organizzazione dei collegamenti



### COLLEGAMENTI

TIRANTI



## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

### Cordolo in acciaio (angolare perimetrale)



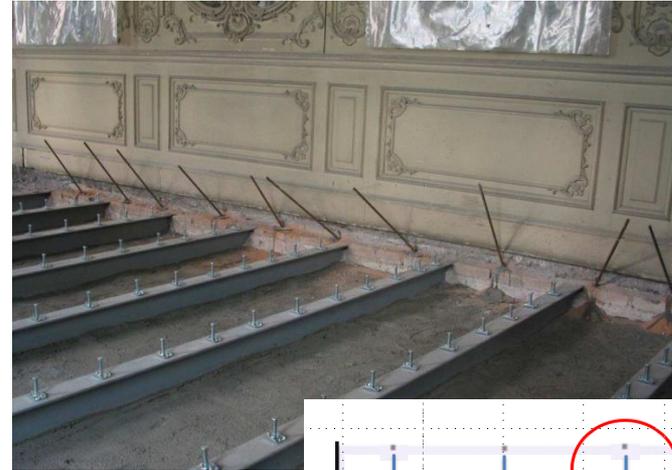
#### Sistema efficiente ma impegnativo nella sua realizzazione:

- Taglio degli angolari (lavori di carpenteria metallica);
- Trasporto e movimentazione;
- Saldatura;
- Inserimento degli spinotti e tiranti all'interno di sedi già forate degli angolari (poco versatile);
- Difficoltà nel seguire irregolarità di perimetro.



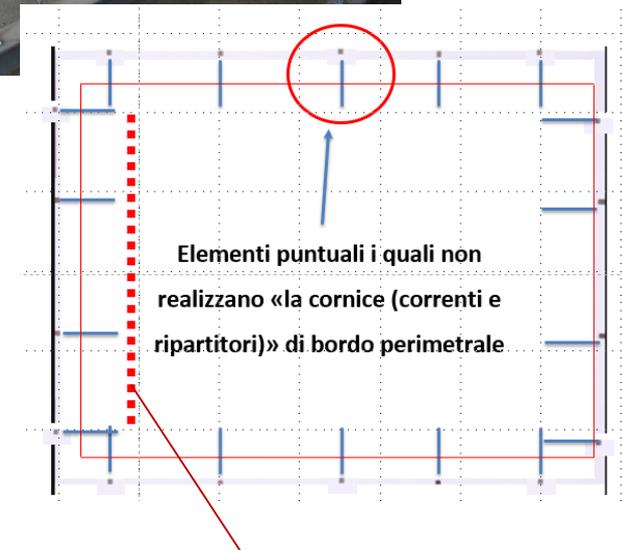
## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

### Barre/Spazzoni «inghisati» nelle pareti



#### Sistema artigianale:

- Aleatorietà legata alla posa in opera (inclinazione, lunghezza e diametro scelto, tipo di resina);
- Difficoltà di controllo delle quote;
- Mancanza dell'efficienza del sistema a CORRENTI/RIPARTITORI di perimetro (diaframma e collegamenti no organizzati!).

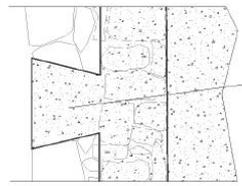
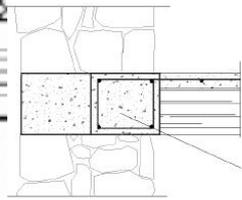
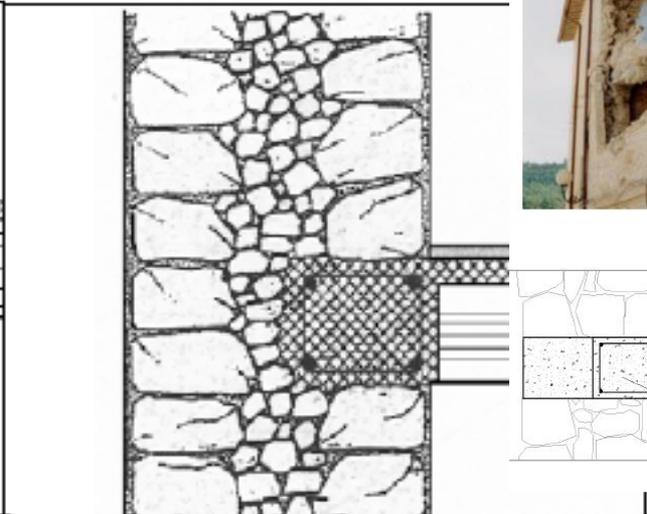
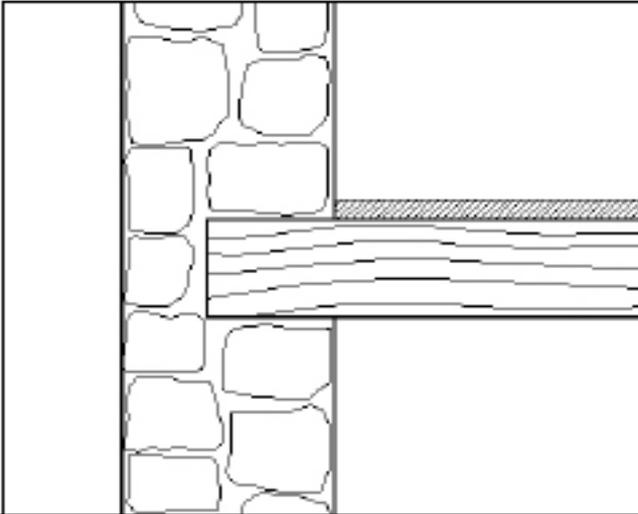
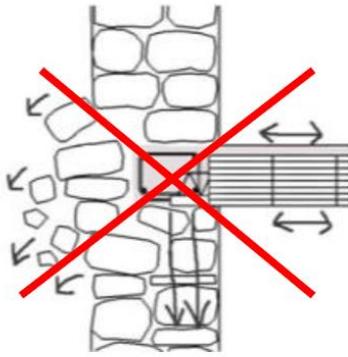
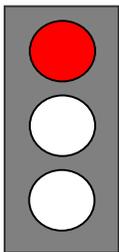


**RISCHIO DI LESIONI PER MANCANZA DI ELEMENTI CHE ASSORBONO TRAZIONI/COMPRESIONI DI BORDO**

# 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO



**Interventi da EVITARE!!!**



**EVITARE**  
cordoli  
perimetrale  
realizzato entro  
lo spessore  
della muratura

**EVITARE**  
connessioni  
a codice di  
rondine

*Assenza totale o parziale di cordoli o catene.*

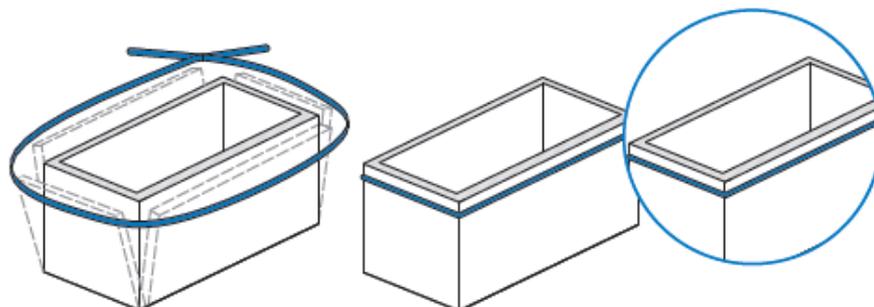
*Collegamenti tra orizzontamenti e pareti tramite cordoli in c.a. in breccia su un solo paramento.*

*Fonte: Regione Toscana: rilevamento della vulnerabilità sismica edifici in muratura*

## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

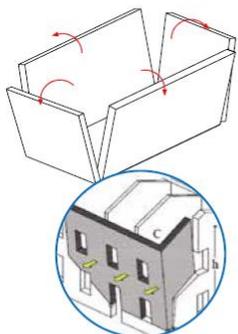
### Innovativo sistema costruttivo PERIMETRO FORTE

INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DEL  
COMPORTAMENTO ANTISISMICO DELL'EDIFICIO.

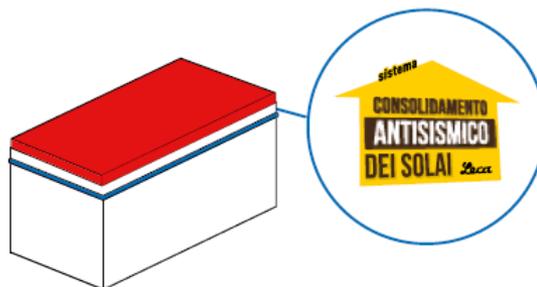
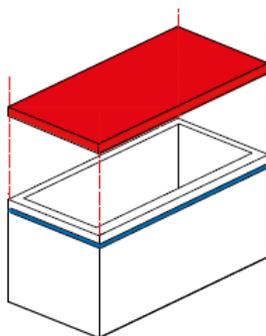


**PERIMETRO FORTE:** formazione della cerchiatura perimetrale per evitare il ribaltamento delle pareti (Connettore Perimetrale).

EDIFICIO SENZA  
COLLEGAMENTI  
SOLAIO-PARETI.



Ribaltamento delle facciate.



**PIANO RIGIDO:** formazione della nuova soletta collaborante leggera interconnessa al solaio esistente (Calcestruzzo Leca + Connettore CentroStorico).



**Leca**  
soluzioni leggere e isolanti

**perimetro  
FORTE**

**CentroStorico**



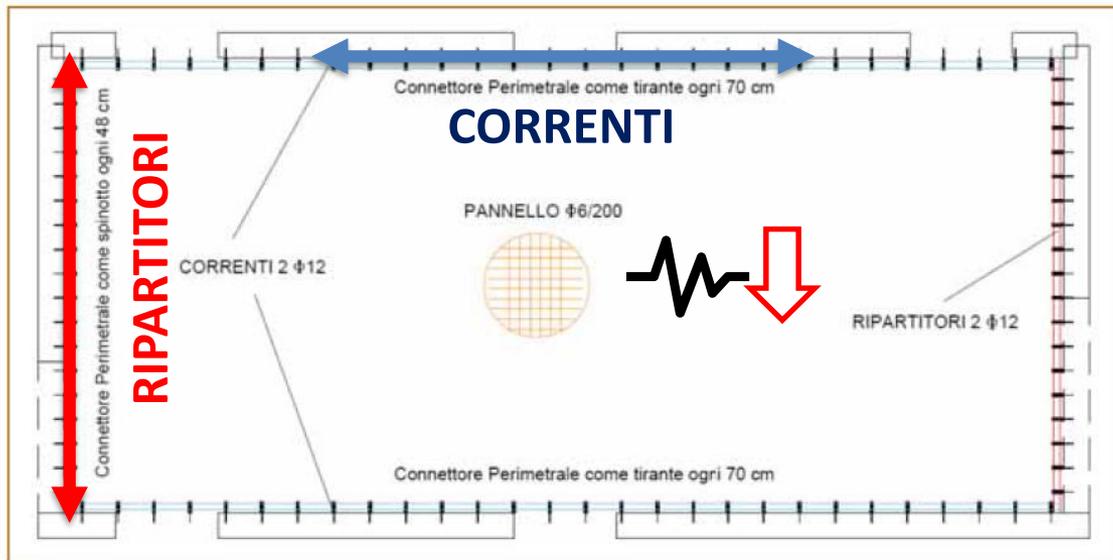
**CentroStorico**  
Soluzioni per ristrutturare  
**Leca**



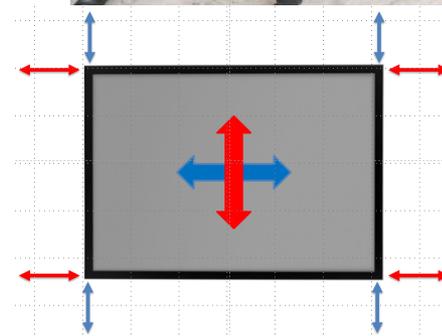
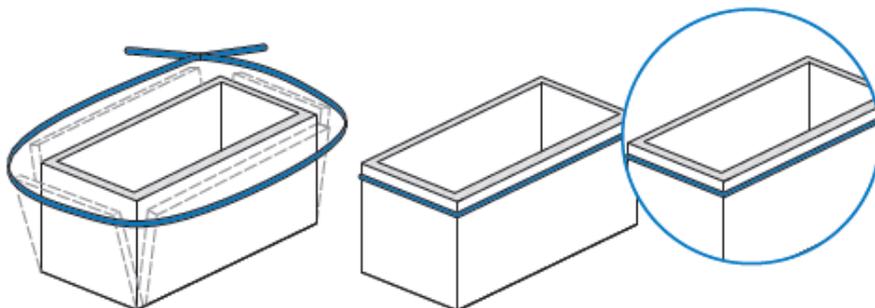
### 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

## Collegamento solaio – pareti & CERCHIATURA ANTISISMICA

**perimetro FORTE**



INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DEL COMPORTAMENTO ANTISISMICO DELL'EDIFICIO.



**PERIMETRO FORTE:** formazione della cerchiatura perimetrale per evitare il ribaltamento delle pareti (Connettore Perimetrale).

### 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

## PERIMETRO FORTE: collegamento solaio – parete CERCHIATURA ANTISISMICA



## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

# CONNETTORE PERIMETRALE



**1** il **CONNETTORE** con funzione antisismica brevettato, industrializzato, certificato.



perimetro  
**FORTE**

Carico ultimo a trazione	15 kN
Carico ultimo a taglio	8,2 kN
Rigidità della connessione	7,5 kN/mm
Confezione: scatole da 12 pezzi	
Certificazione soluzione: Università di Bergamo.	

Connettore Perimetrale è l'innovativo sistema certificato e brevettato in grado di realizzare la cerchiatura perimetrale antisismica Perimetro Forte, finalizzata a ridistribuire le forze sismiche dal solaio alle pareti riducendo i rischi di collassi locali causati dallo sfilamento dei solai e dal ribaltamento dei muri fuori dal loro piano.

Il sistema antisismico è studiato per completarsi al meglio con il consolidamento statico dei solai Leca-CentroStorico (Connettore CentroStorico, Calcestruzzi e Massetti Leca), soluzione certificata per l'aumento della portata utile del divisorio portante orizzontale. È certificato dall'Università di Bergamo, Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate.



### ✓ COMPORTAMENTO SCATOLARE DELL'EDIFICIO

Il sistema riduce la vulnerabilità dell'edificio con interventi finalizzati ad assicurare la stabilità delle pareti.

### ✓ MIGLIORAMENTO CAPACITÀ PORTANTE DEL SOLAIO

Connettore Perimetrale contribuisce all'aumento dei carichi di esercizio del solaio.

## 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO

perimetro  
**FORTE**



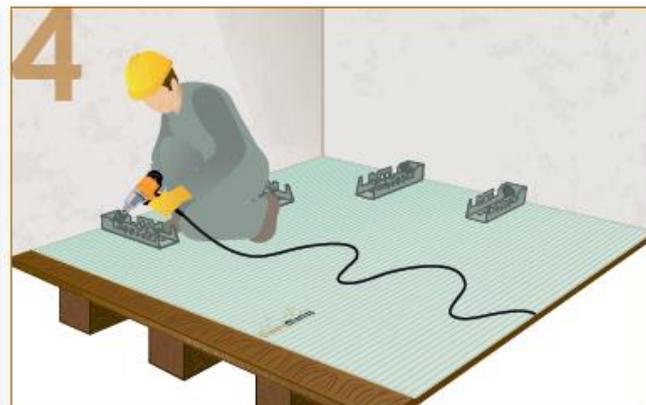
1 Posizionare il Prisma di base lungo l'intero perimetro del solaio (adeguatamente pulito e regolarizzato) secondo lo schema di posa previsto dal Progetto. Eseguire il foro a 45° nella muratura utilizzando la dima presente nel Connettore Perimetrale servendosi di un trapano tassellatore (punta  $\phi$  16 mm) per una lunghezza pari a circa 300 mm.



2 Pulire il foro (con pistola ad aria compressa, scovolino metallico, aspirazione), inserire l'eventuale bussola metallica (in presenza di muratura eterogenea) e riempire con Ancorante Chimico sino a circa i 3/5 della profondità posizionando la cartuccia dentro la "pistola" applicatrice.



3 Inserire immediatamente il Tirante-Spinotto (completo del relativo Prisma) all'interno del foro resinato applicando un leggero movimento di rotazione.



4 Attendere l'indurimento di Ancorante Chimico (in funzione della temperatura da ca. 5 h, +5°C, a ca. 40 min, +30°C) e procedere al serraggio del Tirante-Spinotto al Prisma di base a mezzo avvitatore con bussola da 19 mm.

Trapano tassellatore con punta  $\phi$  16 mm e lunghezza min 315 mm.



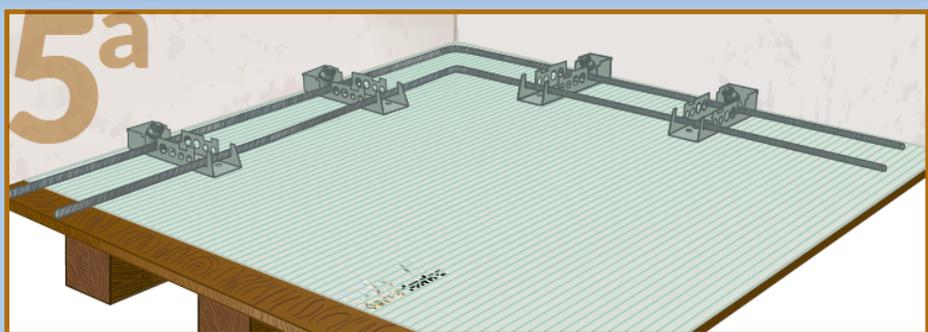
Avvitatore dotato di buona coppia (meglio se ad impulsi) con bussola esagonale 19 mm.



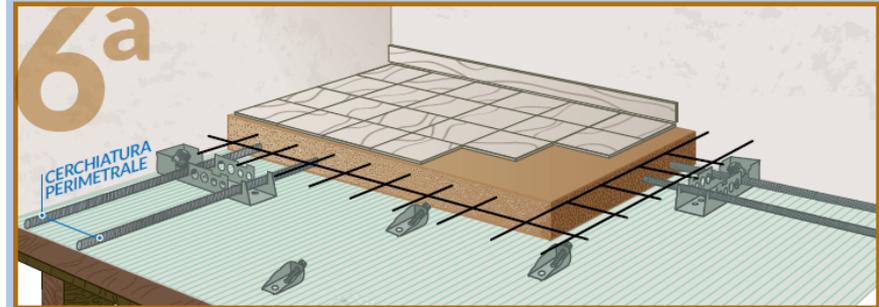
Scovolino metallico o aria compressa per pulizia foro.



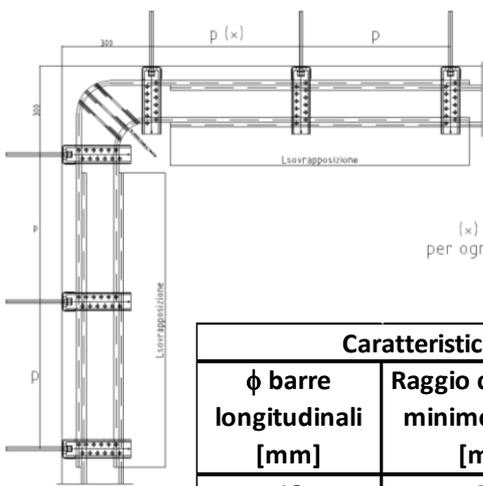
### 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO



5<sup>a</sup>  
Posare le barre d'armatura longitudinali (si consiglia  $\phi$  12 o 14 o 16 mm) all'interno delle sedi previste nel Prisma di base così da realizzare la cerchiatura antisismica perimetrale (si suggerisce, negli angoli, di impiegare barre già piegate a misura).



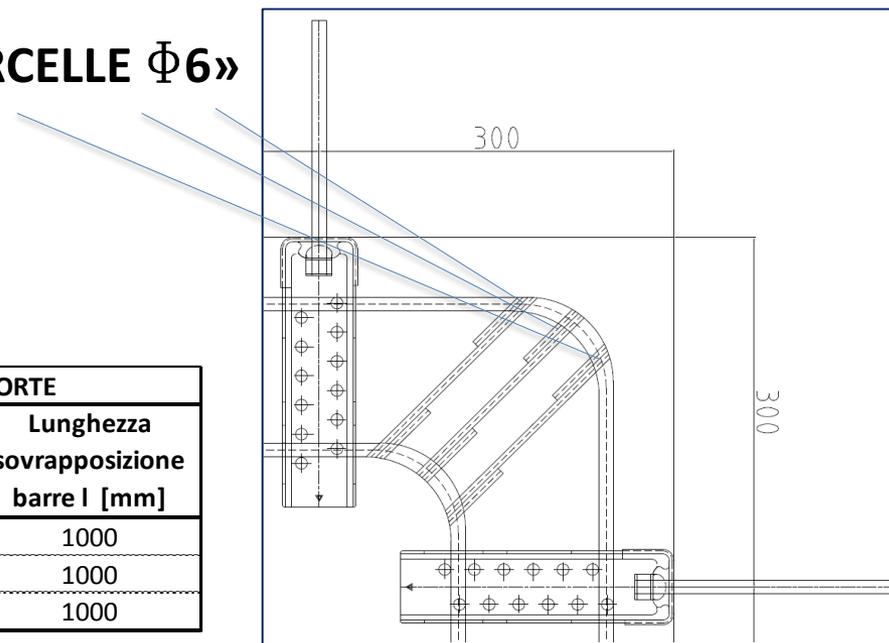
6<sup>a</sup>  
Completare il sistema con la posa di Connettore CentroStorico Legno/Acciaio/Calcestruzzo/Chimico, la rete elettrosaldata (legata al Connettore sfruttando le apposite sedi previste nel Prisma) e il getto di Calcestruzzo Leca per la formazione della soletta collaborante oltre all'eventuale strato di finitura in massetto leggero Leca.



(x) - Il passo tra i connettori p deve essere definito per ogni progetto in funzione dell'azione sismica sollecitante e delle caratteristiche del solaio esistente

Caratteristiche geometriche armatura PERIMETRO FORTE				
$\phi$ barre longitudinali [mm]	Raggio curvatura minimo Rc min [mm]	$\phi$ graffe trasversali [mm]	Passo graffe trasversali [mm]	Lunghezza sovrapposizione barre l [mm]
12	72	6	40	1000
14	84	6	40	1000
16	96	6	40	1000

### «FORCELLE $\Phi 6$ »



### 3.7 Le soluzioni tecniche: consolidamento ANTISISMICO



1

**perimetro FORTE**

Bussola metallica

**Ancorante Chimico CentroStorico**

2

Technical drawings showing dimensions: 100 mm, 40 mm, 45 mm, 60 mm, 43 mm, 65 mm.

**Connettori CentroStorico Chimico**

3

**Leca CLS 1400** **Leca CLS 1600**

**Calcestruzzo ALTE PRESTAZIONI** **CentroStorico**

**Leca CLS 1800** **CALCESTRUZZO**

4

**Leca mix Facile** **Leca mix Fast**

**DOPPIO SACCO, DOPPIA RESA**

**Leca mix Forte** **CentroStorico**

**DOPPIO SACCO, DOPPIA RESA** **MASSETTO**

*sistema*

**CONSOLIDAMENTO ANTISISMICO DEI SOLAI** *Leca*



**Calcestruzzi leggeri strutturali**

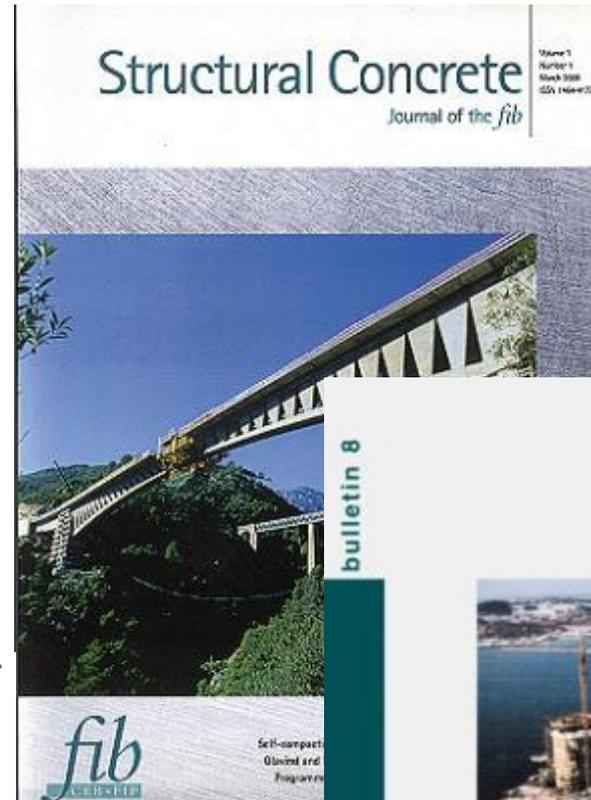
# 5.1 Definizioni e differenze rispetto ai calcestruzzi ordinari



MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI

CIRCOLARE 11 ottobre 1996, n. 287 AA.GG./S.T.C.

**Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996.**



bulletin 8



guidance documents

## Lightweight Aggregate Concrete

- Recommended extensions to Model Code 90 Guide
- Identification of research needs  
Technical report
- Case studies  
State-of-art report

NORMA EUROPEA

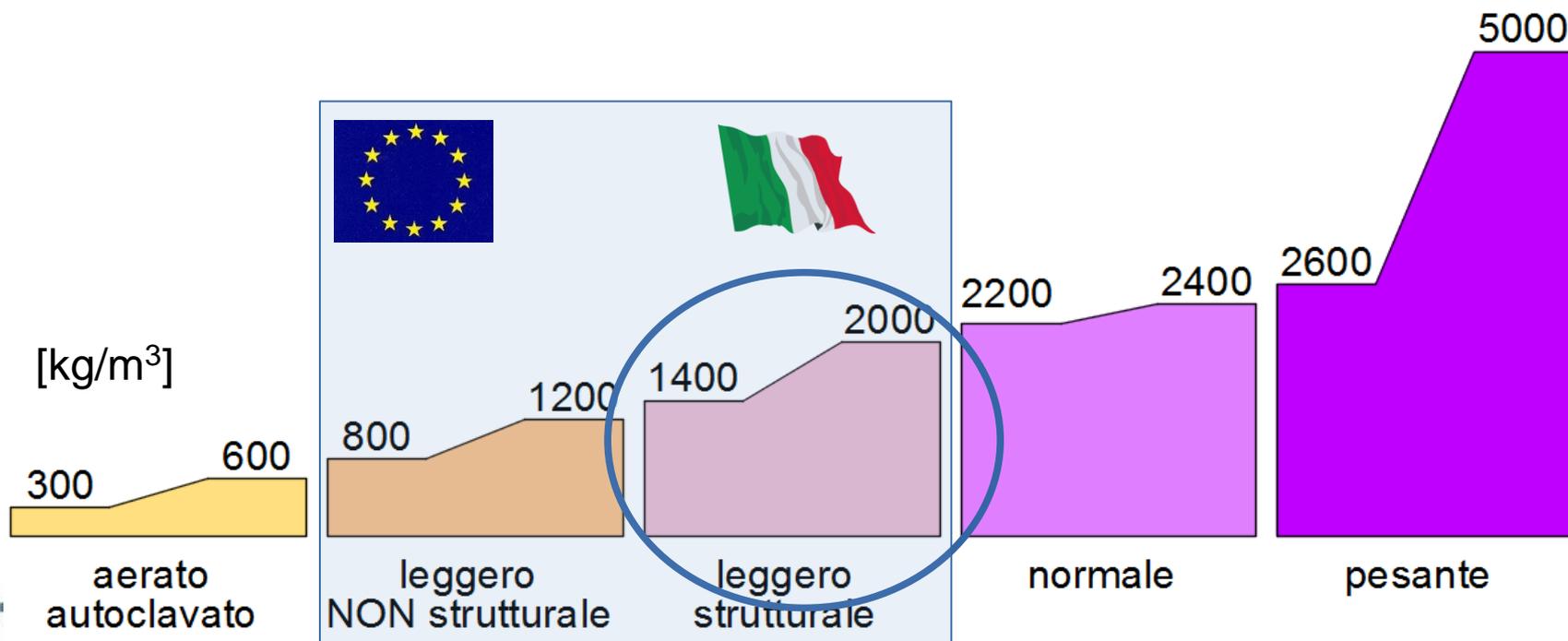
### Eurocodice 2 Progettazione delle strutture di calcestruzzo Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

Eurocode 2  
Design of concrete structures  
Part 1-1: General rules and rules for buildings

La norma fornisce i criteri generali per la progettazione delle strutture di calcestruzzo non armato, armato e precompresso di edifici e opere di ingegneria civile, stabilisce i requisiti per la sicurezza, l'esercizio e la durabilità di tali strutture e si basa sul concetto di stato limite, congiuntamente al metodo dei coefficienti parziali.

## Definizione di calcestruzzo leggero strutturale

Vale la pena di porre l'attenzione, almeno all'inizio, sul fatto che non è correttissima l'espressione "calcestruzzo leggero" (che per brevità tutti, e anche qui noi, adottano), ma è più corretta l'espressione "**calcestruzzo di aggregati leggeri**" (**LWAC**), infatti un calcestruzzo può essere "leggero" perché a struttura aperta (anche se confezionato in parte con aggregati leggeri), o perché molto aerato (es: cls autoclavato), o perché con aggregati leggeri (es: polistirolo), ma non minerali ... e questi non sono *calcestruzzi strutturali leggeri*



## Definizione: classi di massa volumica a secco e di progetto

Classi di massa volumica del calcestruzzo leggero strutturale (tabella C4.1.VI. della Circ. 02.02.2009)

Classe di massa volumica	D1,5	D1,6	D1,7	D1,8	D1,9	D2,0
Intervallo di massa volumica a secco [kg/m <sup>3</sup> ]	$1400 < \rho \leq 1500$	$1500 < \rho \leq 1600$	$1600 < \rho \leq 1700$	$1700 < \rho \leq 1800$	$1800 < \rho \leq 1900$	$1900 < \rho \leq 2000$
Massa volumica calcestruzzo non armato [kg/m <sup>3</sup> ]	1550	1650	1750	1850	1950	2050
Massa volumica calcestruzzo armato [kg/m <sup>3</sup> ]	1650	1750	1850	1950	2050	2150

### Esempio:

- densità a secco: 1410 kg/m<sup>3</sup>
- classe: D1,5
- densità di riferimento: 1500 kg/m<sup>3</sup> (il valore maggiore della classe di appartenenza)
- densità di progetto: 1550 kg/m<sup>3</sup> (+ 50 kg di contenuto di acqua, circa 3%)
- densità di calcolo considerando l'armatura: 1650 kg/m<sup>3</sup> (+ 100 kg armatura)



### Definizione di calcestruzzo leggero strutturale

Secondo le NTC 2008 (§ 4.1.12 e §C 4.1.12, § C.4.1.12.1) si ha un cls leggero strutturale se:

contiene **aggregati leggeri minerali**, artificiali o naturali conformi alla UNI EN 13055-1

ha classe di **resistenza minima LC 16/18** ( $f_{ck} \leq 16 \text{ N/mm}^2$ ,  $R_{ck} \leq 18 \text{ N/mm}^2$ )

***(LC20/22 nella progettazione per azioni sismiche con le NTC 2018)***

ha classe di **resistenza massima LC 55/60** ( $f_{ck} \leq 55 \text{ N/mm}^2$ ,  $R_{ck} \leq 60 \text{ N/mm}^2$ )

ha **densità minima** a secco  $\geq 1.400 \text{ kg/m}^3$

ha **densità massima** a secco  $\leq 2.000 \text{ kg/m}^3$



## ARGILLE ESPANSE PER CALCESTRUZZI STRUTTURALI

LECA			
Denominazione commerciale	0 - 2	2 - 3	3 - 8
Densità in mucchio Kg/m <sup>3</sup> circa	700	480	380
Resistenza alla frantumazione dei granuli N/mm <sup>2</sup>	≥ 4,5	≥ 2,5	≥ 1,5
Conducibilità termica certificata λ W/mK	0,12	0,10	0,09
Reazione al fuoco	Euroclasse A1 (Incombustibile)		

LECA STRUTTURALE			
Denominazione commerciale	0 - 5	5 - 15	0 - 15
Densità in mucchio Kg/m <sup>3</sup> circa	720	600	650
Resistenza alla frantumazione dei granuli N/mm <sup>2</sup>	≥ 10,0	≥ 4,5	≥ 9,0
Conducibilità termica certificata λ W/mK	0,12	0,12	0,13
Reazione al fuoco	Euroclasse A1 (Incombustibile)		

LECA TERRECOTTE			
Denominazione commerciale	0 - 6	6 - 12	0 - 12
Densità in mucchio Kg/m <sup>3</sup> circa	950	800	900
Resistenza alla frantumazione dei granuli N/mm <sup>2</sup>	≥ 15,0	≥ 7,0	≥ 12,0
Reazione al fuoco	Euroclasse A1 (Incombustibile)		



Argilla espansa Leca.



Argilla espansa Leca Strutturale.

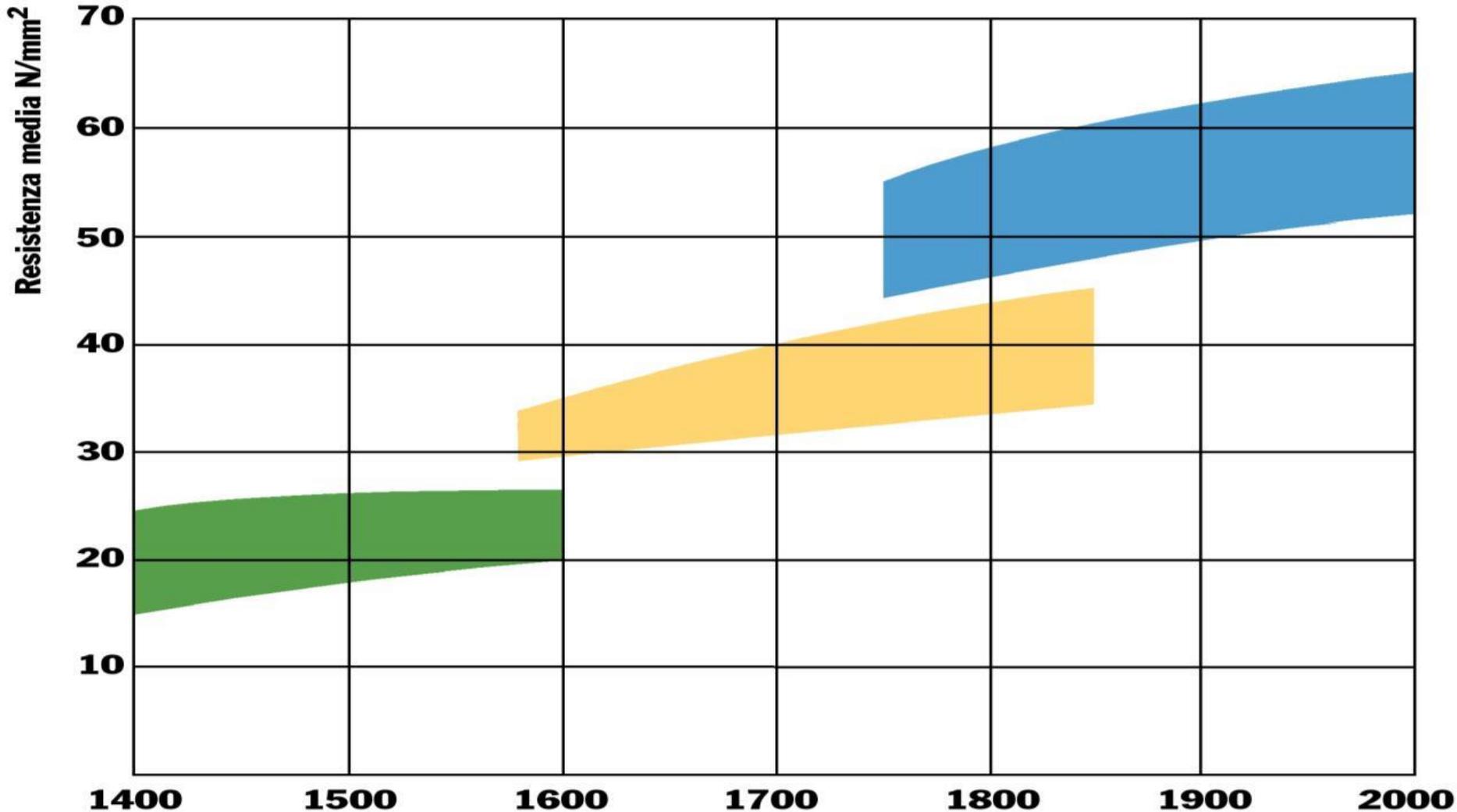


Argilla espansa Leca Terrecotte.



## 5.1 Definizioni e differenze rispetto ai calcestruzzi ordinari

### PRESTAZIONI MECCANICHE



Densità a secco  $kg/m^3$

*I vantaggi della leggerezza*

*Referenze ed esempi di strutture  
in LWAC*

I calcestruzzi strutturali leggeri a base di argilla espansa Leca, grazie al favorevole rapporto resistenza/peso sono ideali per:

- Strutture con peso proprio preponderante ai carichi portati
- Grandi opere di ingegneria (grandi luci o altezze)
- Interventi su terreni con limitata portanza
- Ristrutturazione in generale
- Strutture soggette ad elevate azioni orizzontali (sisma per esempio)
- Riduzione di ponti termici grazie alla ridotta conduttività termica
- Strutture a rischio di incendio
- Solai in calcestruzzo pieno di ridotto spessore



Edificio pluripiano con elementi in aggetto (parapetti) e struttura portante di sommità (piano attico e superattico) in calcestruzzo leggero strutturale (CityLife Milano).



### Torre di Fuksas (Pescara)



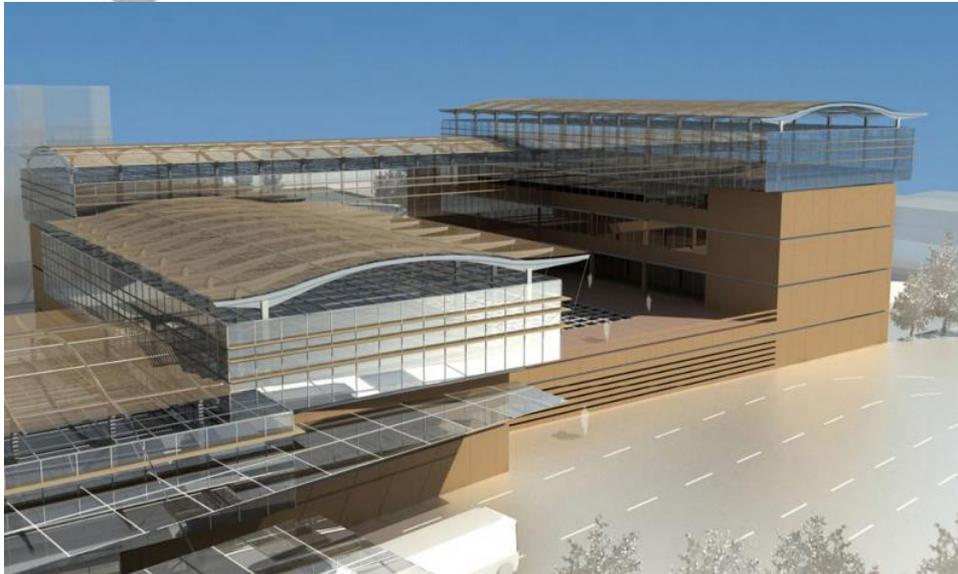
### Residenze Citylife (Milano)



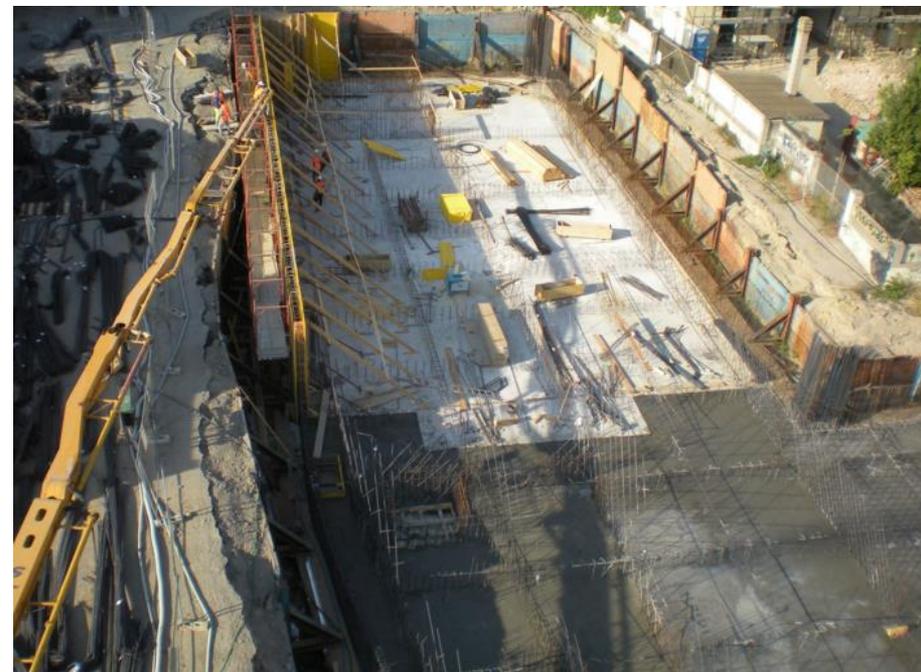


Auditorium «Teatro della musica»  
Ravello (SA)





Complesso  
Multifunzionale Sesta  
Porta (Pisa)



## 5.4 Referenze e case history di impiego dei LWAC

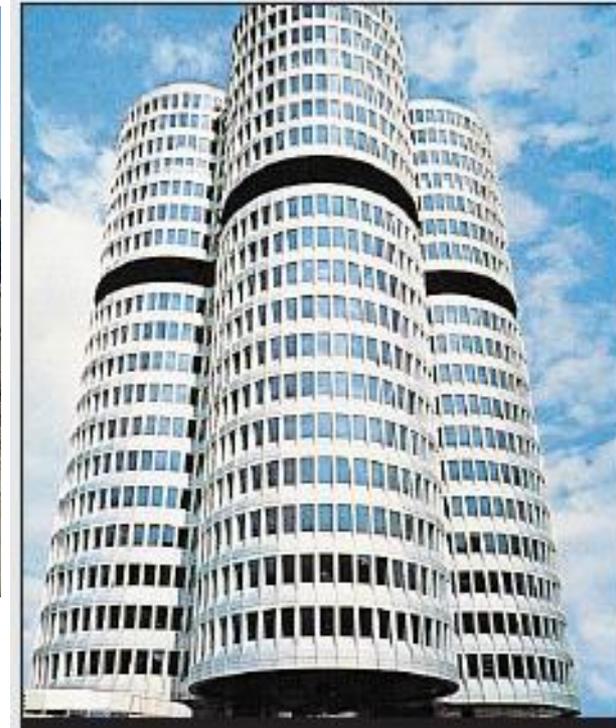


Torre  
Polifunzionale  
(PD)

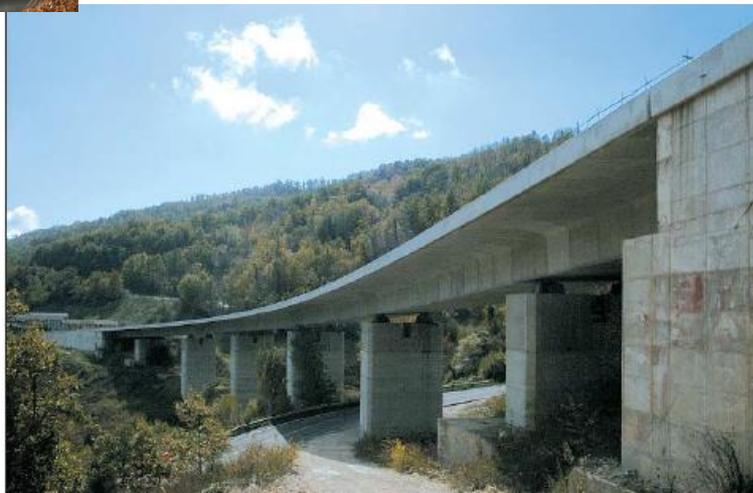


Cassoni del  
MOSE (Venezia)

Grattacielo BMW  
(Monaco di Baviera)

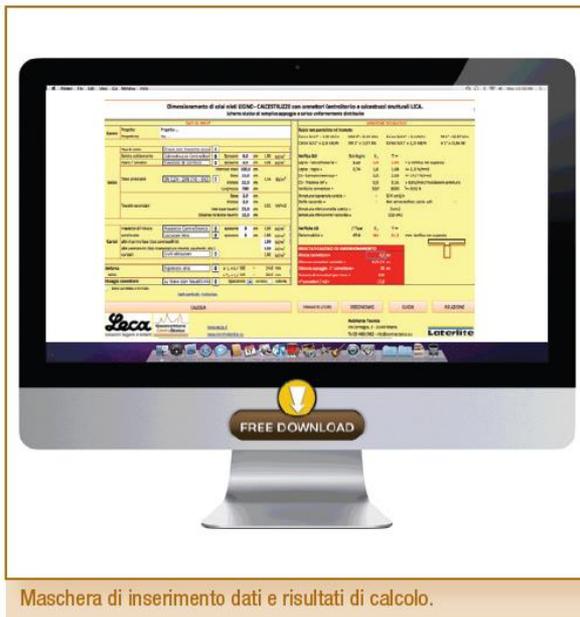
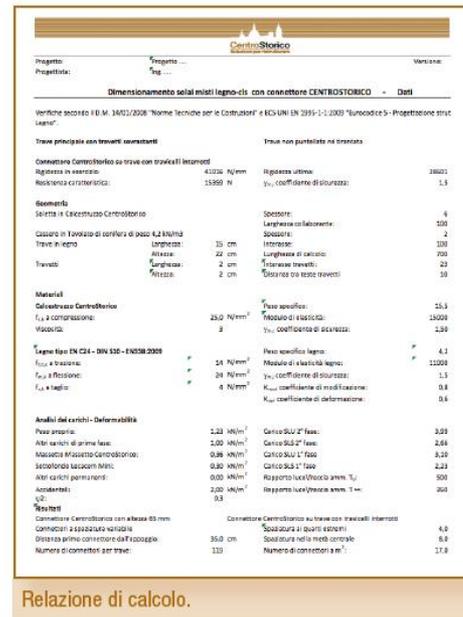


Viadotto S.S. Isernia  
Castel di Sangro (AQ)



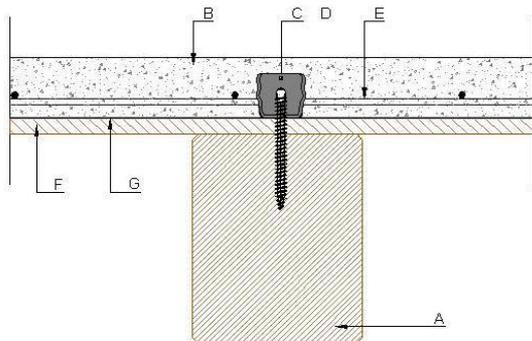


# 6.1 Software di calcolo consolidamento statico

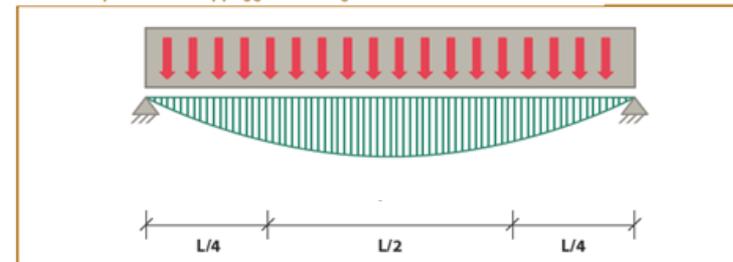



Relazione di calcolo.

CentroStorico			
Progetto:	Progetto	Versione:	
Progettata:	Fig.		
<b>Dimensionamento selati misti legno-c/c con connettore CENTROSTORICO - Dati</b>			
Verifica secondo il D.M. 14671/2008 "Norme tecniche per le Costruzioni" e EC5 UNI EN 1995-1-1:2009 "Eurocodice 5- Progettazione delle Legni"			
Trave principale con travelli interrotti		Trave con puntellato su travetti	
Connettore Centrostorico su trave con travelli interrotti	41220 N/mm	Rigidezza ultima	18021
Rigidità in esercizio	15909 N/mm	$\gamma_{M5}$ coefficiente di sicurezza:	1,5
<b>Geometria</b>			
Selettività Centrostorico		Spessore	4
		Spessore in lavorazione	2
Classe in funzione di carichi di peso 4,2 kN/m <sup>2</sup>		Intonaco	100
Trave in legno	35 cm	Spessore	5
Altezza	22 cm	Intonaco	330
Travelli	2 cm	Spessore di carico	700
	2 cm	Intonaco travelli	25
	2 cm	Distanza tra teste travelli	30
<b>Materiali</b>			
Calcestruzzo Centrostorico		Peso specifico	25,0
$f_{ct,d}$ a compressione	25,0 N/mm <sup>2</sup>	Modulo di elasticità	30000
Massiccio	3	$\gamma_{M2}$ coefficiente di sicurezza:	1,50
<b>Legno tipo EN C24 - UNI EN 1995-1-1:2009</b>			
		Peso specifico legno	4,1
$f_{t,d}$ a trazione	14 N/mm <sup>2</sup>	Modulo di elasticità legno	11000
$f_{c,d}$ a flessione	24 N/mm <sup>2</sup>	$\gamma_{M5}$ coefficiente di sicurezza:	1,5
$f_{v,d}$ a taglio	4 N/mm <sup>2</sup>	$K_{mod}$ coefficiente di modificaazione:	0,8
<b>Analisi dei carichi - Deformabilità</b>			
Peso proprio	2,23 kN/m <sup>2</sup>	Carico SUI 2° fase	3,99
Altri carichi di prima fase	2,00 kN/m <sup>2</sup>	Carico SUI 2° fase	2,66
Massiccio Massiccio Centrostorico	0,96 kN/m <sup>2</sup>	Carico SUI 1° fase	8,20
Secolofono Saccorini MHC	0,80 kN/m <sup>2</sup>	Carico SUI 1° fase	2,23
Altri carichi permanenti	0,00 kN/m <sup>2</sup>	Rapporto tra i due carichi	800
Accidenti:	2,00 kN/m <sup>2</sup>	Rapporto tra i due carichi	200
$q_{d1}$	9,3		
<b>Resultati</b>			
Connettore Centrostorico con altezza 85 mm		Connettore Centrostorico su trave con travelli interrotti	
Comerenti e spessore variabile	35,0 cm	Spessore a quarti spessori	4,0
Distanza tra i connettori dell'asse	120	Spessore nella web centrale	8,0
Numero di connettori per trave	120	Numero di connettori a m <sup>2</sup>	17,8

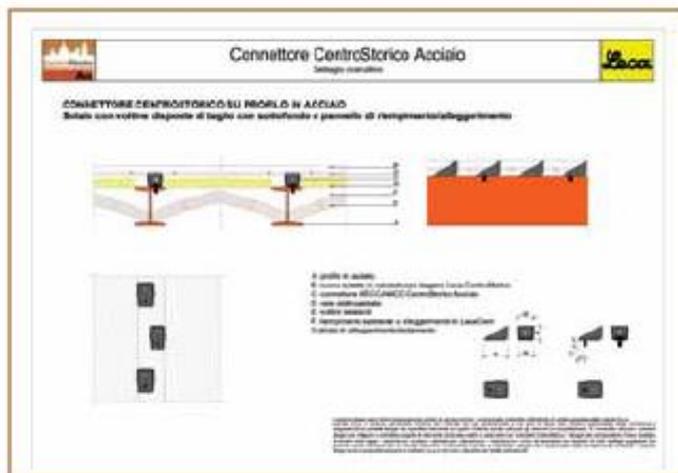
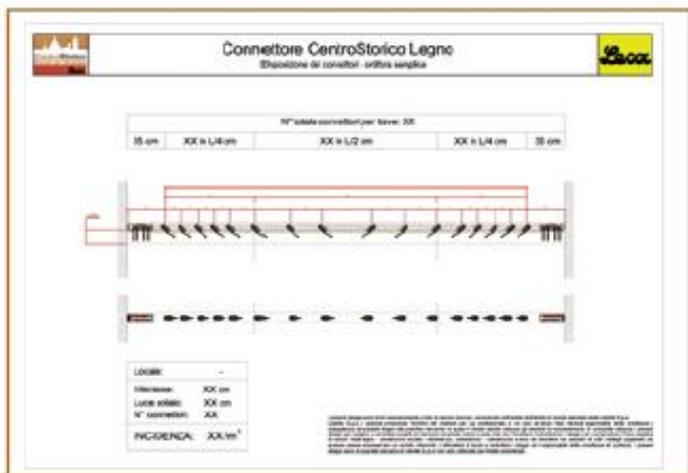
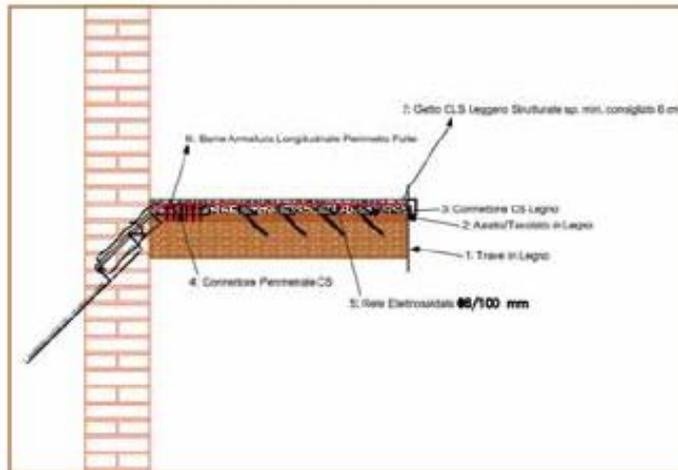
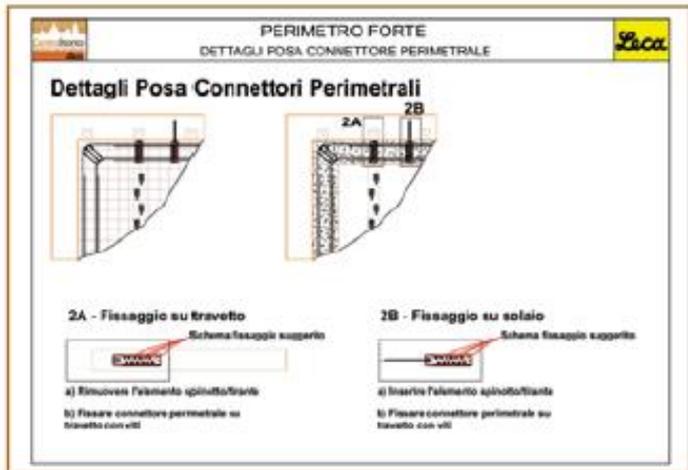


Trave semplicemente appoggiata - diagramma del Momento flettente



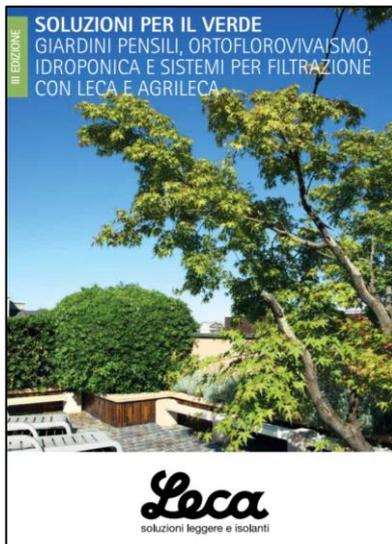
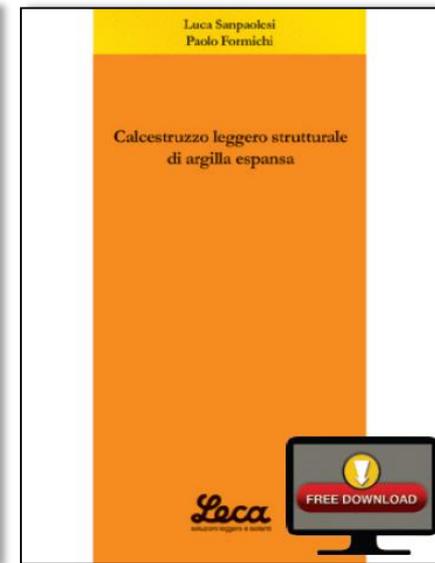
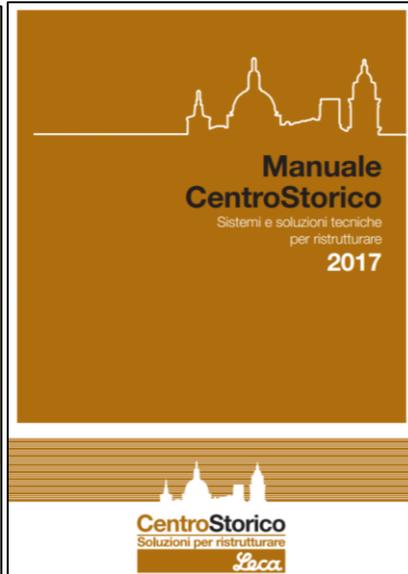
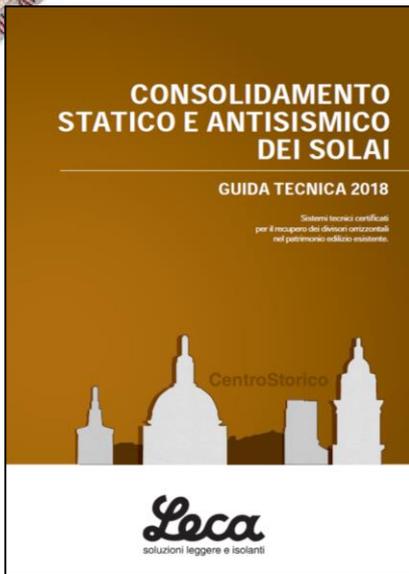


# 6.3 Particolari e dettagli costruttivi



Per il **download completo** e gratuito dei particolari di collegamento alla muratura e sezioni tipo di consolidamento in formato **dwg** per **AutoCAD**, visitare il sito **www.CentroStorico.eu** o **www.Leca.it**.

# 6.4 Documentazione Tecnica



[www.Leca.it](http://www.Leca.it)



[www.CentroStorico.eu](http://www.CentroStorico.eu)



**Newsletter**  
**Iscrivetevi!**



è anche sui principali **Social Network.**



Clicca **Mi piace** sulla nostra pagina e rimani in contatto con noi.

Per te

- **novità,**
- **referenze,**
- **convegni**

..... e tanto altro!



# Grazie

*Ing. Marco Mignone*

*331 6753269*



Assistenza Tecnica

[infoleca@leca.it](mailto:infoleca@leca.it) – [www.leca.it](http://www.leca.it)

Tel 02 48011962